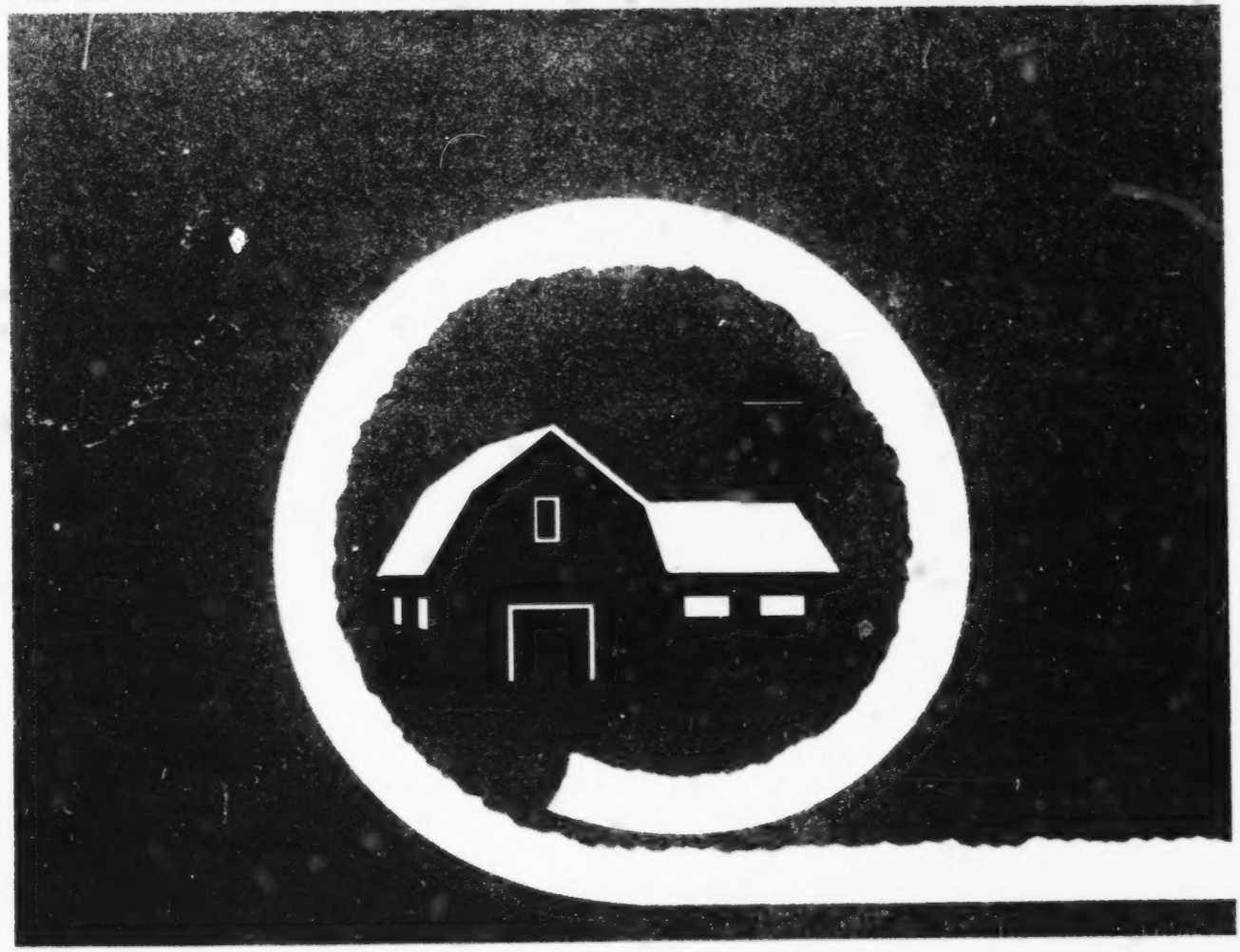
INSULATION IN FARM BUILDINGS

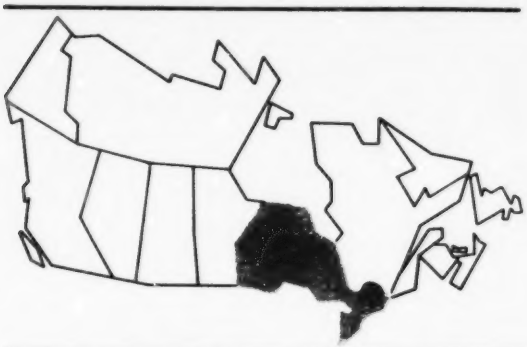
Agriculture Canada

Publication 1601/E



Canada

A FEDERAL/PROVINCIAL PUBLICATION



CANADA/ONTARIO

INSULATION IN FARM BUILDINGS

This publication is a revision of Ontario publication 96. Under the provisions of the Federal-Provincial Regional Cooperative Publishing Program, Agriculture Canada has agreed to print this publication.

JOHN E. TURNBULL
Engineering Research Service
Research Branch, Agriculture Canada
Ottawa

GEORGE F. MONTGOMERY
(formerly) Engineering and Statistical Research Institute
Research Branch, Agriculture Canada
Ottawa

AGRICULTURE CANADA
PUBLICATION 1601
REVISED 1983

PUBLICATION 1601E, available from
Communications Branch, Agriculture Canada,
Ottawa K1A 0C7

©Minister of Supply and Services Canada 1983
Cat. No. A 15 1601 1983E ISBN: 0-662-12742-0
Revised 1983 2M 10:83

Également disponible en français.

CONTENTS

WHY USE INSULATION? 4

Heat loss 4
Condensation 4

TYPES OF INSULATION 4

Insulation materials 4
Comparing insulation values 6

HOW MUCH INSULATION SHOULD BE USED? 6

Wall thickness 6
Ceilings 6
Foundation perimeter 6
Condensation 6
Minimum annual cost 9

INSULATION IN USE 10

Method of insulation 10
Roof insulation in cold livestock barns 10
Vapor barriers 10
Fire protection 13
Inside-out construction 13
Porous ceiling ventilation systems 13
Rodents 14

APPENDIX 14

Calculating RSI values and heat losses for typical farm building construction 14

Estimating the insulation value (RSI) of ceiling, wall, foundation and floor for Figure 2 14

INSULATION IN FARM BUILDINGS

Insulation has become an important component in modern livestock and poultry buildings. It is indispensible in the construction of fruit, vegetable and frozen food storages.

WHY USE INSULATION?

Insulation is used in buildings for some or all of the following reasons:

- to reduce heat loss in winter (or heat gain, in summer)
- to reduce condensation
- to provide fire resistance (fire walls, etc.)

Heat loss

The main reason for insulation is to reduce heat loss from a building. A well-insulated livestock building may need little or no supplementary heat over and above that given off by the livestock themselves.

Insulation reduces heat loss caused by conduction, convection, radiation, and air leakage.

Conduction of heat occurs when heat passes by contact from particle to particle. Lightweight materials such as air and insulation conduct much less heat than heavy materials such as metals.

Convection losses occur when cool circulating air moves in a confined space (such as within a stud wall), picking up heat as it rises in contact with a warm surface and then losing the heat as it sinks over a cool surface. Filling the space with insulation minimizes air movement.

Radiation losses occur when heat energy is transmitted directly across an open space. Air transfers radiant energy, but insulative materials and reflective surfaces block it significantly.

Air leakage heat loss is mostly caused by wind that blows cold air into the windward side of a building and draws a corresponding amount of warm air out through the leeward side. Tight construction, using a tightly sealed vapor barrier near the interior wall surfaces and vapor-breathing wind-stop materials near the outside, minimizes air leakage losses.

Condensation

Condensation, and the building deterioration it causes, can be a much greater problem on interior walls and ceilings of livestock buildings than in houses. This is because of the much higher relative humidity and often lower inside temperatures. Water from the humid room air condenses on the cool wall and ceiling surfaces. If these surfaces are kept warm by using enough insulation, the air that contacts them is kept above the dew point and no wetting occurs.

Figure 1 illustrates how a poorly insulated wall (such as plain concrete block) has a wet interior surface, while a well-insulated frame wall is warm and dry. Note that the inside and outside air temperatures and humidities are the same for both walls. However, the interior surface of the poorly insulated concrete block (at 1°C) is much cooler than the dew point temperature (10.5°C) of the moist room air. On the other hand, the interior surface of the well-insulated frame wall is only slightly cooler than the room air (13°C, versus 15°C). This is warmer than the dew point, and no condensation occurs.

TYPES OF INSULATION

Insulation materials

Fibrous blanket insulation

Mineral wool and glass fiber Both of these materials are relatively low in cost, fire-resistant, and very effective in reducing heat flow. They are packaged as blankets that are either stacked or rolled, depending on thickness.

Blankets are made in widths to fit between typical wood framing, spaced 400-600 mm on center. This is an important consideration in the construction of farm building frames where insulation may be installed either at the time of construction or added later.

Blanket insulation may be paper-wrapped, often with one paper surface sealed to provide a built-in vapor barrier. Be careful to install the blanket with the vapor barrier surface facing the warmer side of the wall or ceiling. Because this sealed paper is discontinuous and easily damaged by rodents, an additional vapor barrier such as polyethylene film is usually recommended.

'Friction-fit' insulation is an improved form of glass fiber blanket insulation. It is more elastic and has an improved binder that eliminates the need for a paper cover. Friction-fit insulation fits the spaces between the studs and joists better than the older paper-wrapped materials, and has less tendency to sag out of position. It usually comes without an integral vapor barrier.

Loose-fill insulation

Loose mineral wool Mineral wool insulation can be purchased loose, packaged in paper bags. It costs more per square metre than the blankets; its only advantage is that it can be poured or blown into awkward horizontal spaces such as attics where blanket material would be difficult to install.

Vermiculite Vermiculite is a mineral (mica) that has been expanded (like popcorn) into a lightweight granular insulation. It pours into confined spaces better than loose mineral wool. It is sometimes used to fill the spaces within light-

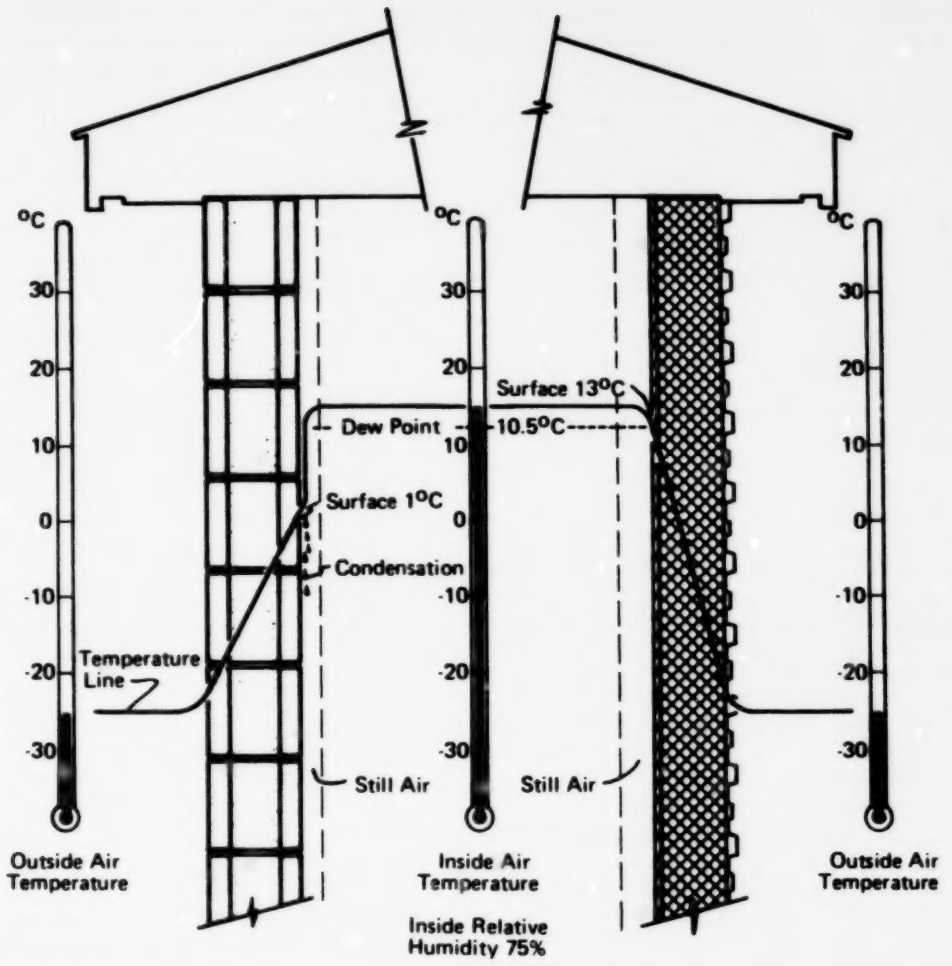


Fig. 1. Preventing wall surface condensation with well - insulated construction.

aggregate concrete blocks to increase the insulation value of concrete masonry walls.

Cellulose fiber Macerated wood pulp or newsprint paper makes a good loose-fill insulation provided it is treated with fire-retardant chemicals. Some treated cellulose fiber insulations in contact with moisture have been blamed for corrosion of electric wiring and lighting fixtures.

Pulverized polystyrene plastic foam Scraps and cuttings from the manufacture of rigid plastic foam can be granulated for loose-fill insulation. In wet situations, this material probably absorbs less moisture than other loose-fill insulations.

Rigid plastic foam insulation

Polystyrene foam This plastic foam is produced as either 'beadboard' or 'extruded' insulation board. The beadboard is made by expanding polystyrene plastic beads in a mold, forming slabs about 1200 × 2400 mm. After hardening, the slabs are sliced with a hot wire into sheets from 13 to 100 mm thick. Beadboard can be used in contact with dry soil, such as under light-duty concrete floors (farrowing creeps, for example) and for foundation perimeter insulation provided it is protected from weather and rodents (see Figure 2).

The extruded polystyrene board is a denser product formed by continuous foaming and extrusion. It can have smooth waterproof skin, or can be recut to give a cellular surface texture for use as a plaster base. Extruded polystyrene has better resistance than beadboard to both water and water vapor, making it superior in wet locations. A typical application is in making adjustable air inlet flaps for ventilating livestock barns. It is frequently used to support and insulate under concrete floors that receive heavier loads, such as tractors and forklifts.

Polyurethane foam Polyurethane foam can be made into rigid sheets in the same way as polystyrene foam, or it can be foamed in place to insulate cavity-wall construction. Its other uses include prefabricated 'sandwich' panels for buildings and in manufactured articles such as refrigerators. On farms, contractors using special equipment usually spray the raw foam onto surfaces to be insulated. The foam 'froths up' and hardens rapidly, then continues to expand very slowly as it ages. This is the reverse of polystyrene, which shrinks slightly on aging. Because polyurethane can be sprayed over cracks and irregularities to provide a continuous layer, and because it expands on aging to maintain this layer, it can produce an airtight seal. This is especially advantageous in controlled atmosphere food storages where a gas seal is required in addition to insulation.

Polyurethane foam is structurally similar to polystyrene foam except that the foamed bubbles are filled with freon instead of air. Since freon is a better insulator than air, polyurethane foam has a greater resistance to heat flow. However, it costs more. The insulation value of new polyurethane foam is greater than that shown in Table 1 (see Appendix) but, as the freon gas gradually escapes, the value declines.

Polyurethane and some grades of polystyrene insulation present a special FIRE HAZARD when left exposed and unprotected (see section on fire protection).

Urea formaldehyde foam Urea formaldehyde foam is produced from a urea formaldehyde resin put under air pressure with a foaming agent. It can be injected into difficult or inaccessible locations. It is light in weight, with a standard density of 11 kg/m^3. While curing, it shrinks as much as 3% by volume in the first year, with the shrinkage continuing for an indefinite period. This causes cracks and voids to appear in the insulation; consequently, a Canadian Government Specification Board standard has derated U.F. foam to 60% of its laboratory-tested RSI value. There is also the possibility of slow release of formaldehyde gas.

Comparing insulation values

Most insulations have been tested in laboratories to determine their relative insulation capabilities (RSI values). The larger the RSI value per unit of thickness, the better the insulation.

In Table 1 (see Appendix), the RSI values of various insulating materials are listed. An approximate cost is also given for most insulations, as is the cost per RSI unit. The latter indicates the comparative cost in relation to effectiveness of insulation. It is determined by dividing the RSI value at the thickness listed into the material cost. For example, for RSI 2.3 batt insulation, the cost per unit of RSI value = \$1.66/2.3 = \$0.72/(m^2·RSI).

HOW MUCH INSULATION SHOULD BE USED?

Several factors influence how much insulation you should install in the ceiling, walls and perimeter of a farm building.

Wall thickness

In many building walls, the stud space between inner and outer cladding limits the amount of insulation. Most conventional stud-frame and pole-frame farm buildings are now built using members sawn and dressed to 140 mm, which usually leaves enough space for insulation.

Ceilings

Ceiling insulation in truss-roofed buildings (Figures 2 and 3) can be increased beyond 140 mm if desired.

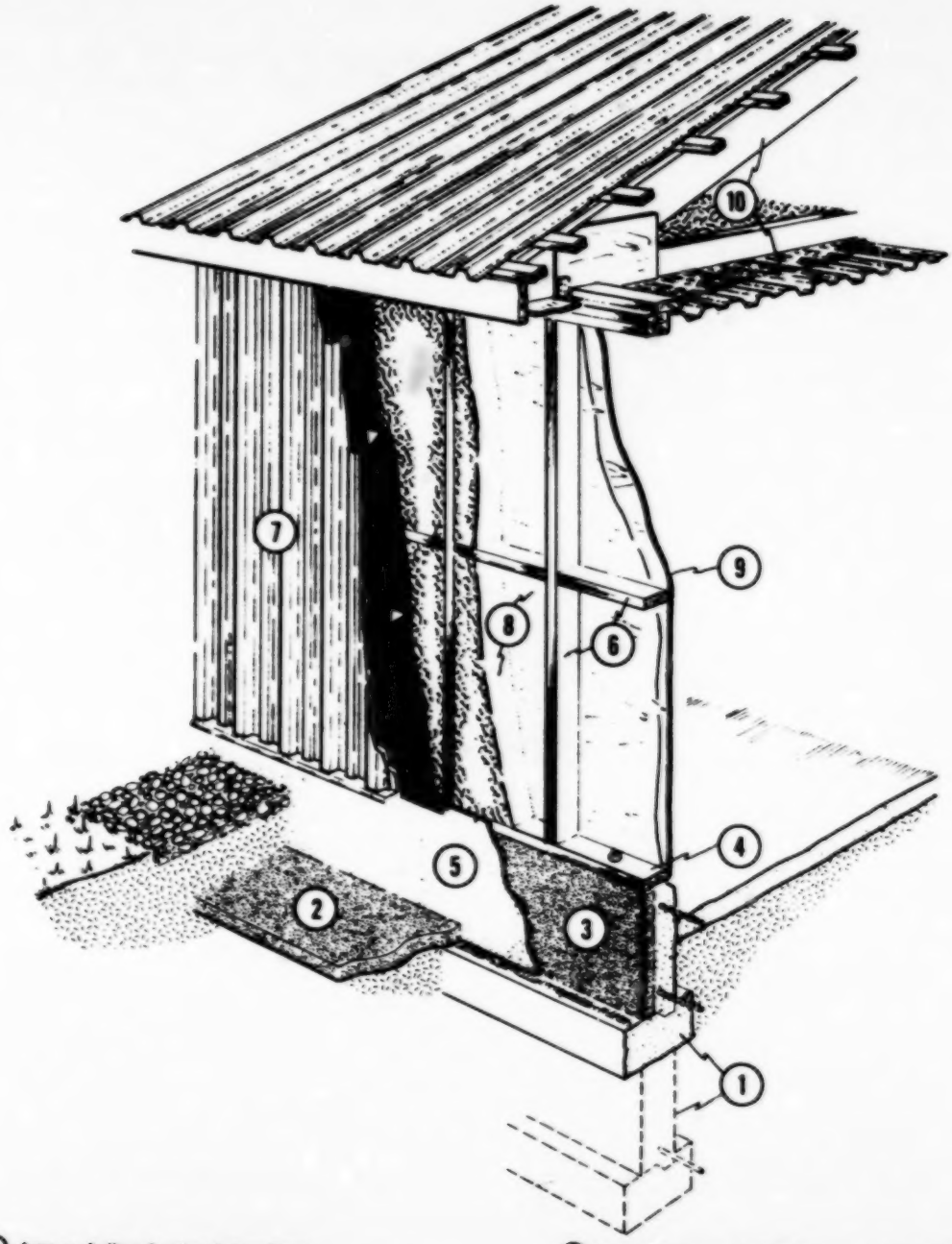
Foundation perimeter

This part of the building is most often overlooked when insulation is being installed. In new buildings, it's best to tack a strip of polystyrene (either bedboard or recut extruded type) to the inside face of the outside concrete forms, using finishing nails. When the concrete is poured, it bonds with the face of the polystyrene, so that the nails pull easily through the insulation when the forms are stripped.

This leaves the insulation board bonded into the outside face of the foundation, where it is most effective at controlling heat loss and temperature changes in the concrete. An outside covering of high-density asbestos board, or stucco-lath and cement plaster, protects the insulation from weathering and rodent damage (see Figure 2).

Condensation

Always install enough insulation in walls and ceiling to control condensation on the interior cladding, even if this is more than you need to maintain a heat balance (when heat produced in the building equals heat lost from all sources, such as ventilation, ceiling, walls, doors, windows, perimeter and floor). The heat produced can come from livestock, respiration of stored fruits and vegetables, or a heating system.



① deep or shallow footing, below frost

② 50 x 600 mm extruded polystyrene horizontal perimeter insulation (required with shallow footing in cold climates)

③ 50 x 550 mm extruded polystyrene perimeter insulation, tack to concrete forms with finishing nails before placing concrete

④ 38 x 140 mm CCA-pressure-treated sill, anchor bolts @ 1200 mm oc

⑤ 6 x 600 mm high-density asbestos cement board, drill and screw to ④

⑥ 38 x 140 mm studs @ 600 mm oc, blocking and top plates to match

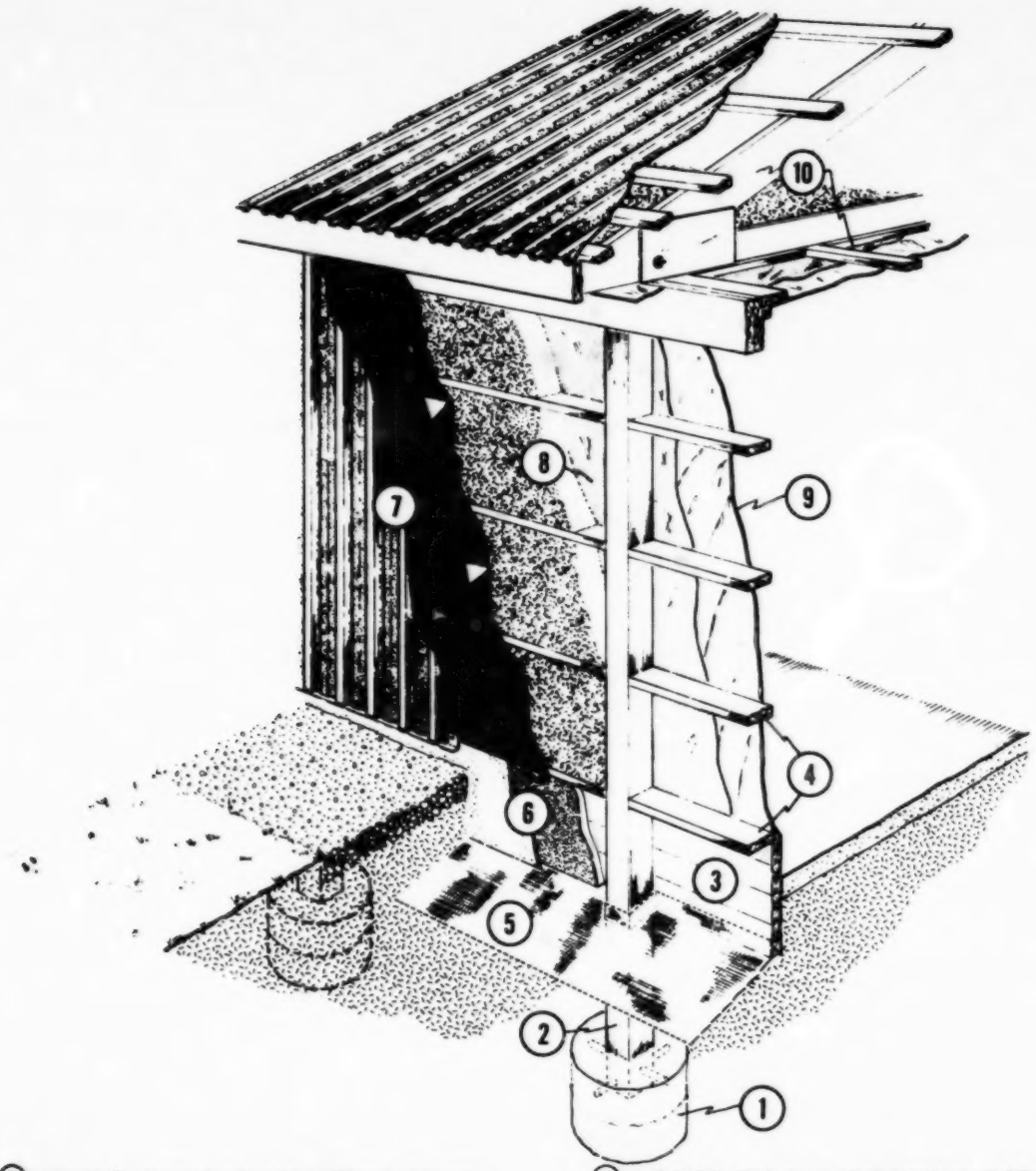
⑦ asphalt felt wind-stop, vertical or horizontal exterior steel siding screwed to ⑥

⑧ 140 mm (RSI-3.5) friction-fit glass-fiber insulation, polyethylene vapor barrier

⑨ interior cladding (horizontal plywood, etc.)

⑩ roof trusses, polyethylene vapor barrier, steel diaphragm ceiling, insulation RSI-3.5 (minimum)

Fig. 2. Insulated stud-frame wall construction (from Canada Plan Service, plan M-9324).



① concrete footing and anchor plug, 750 mm diam. min., below frost

② 140 x 140 x 4200 mm CCA-pressure-treated poles @ 2400 mm oc, steel pins to ①

③ 38 x 140 x 4800 mm CCA-pressure-treated tongue and groove splash planking, top plank rabbetted for ⑨

④ 38 x 140 mm wall girts toe-nailed between poles @ 600 mm oc, bottom girt pressure-treated

⑤ 12 x 12 mm galv. hardware cloth rodent stop

⑥ optional perimeter insulation; 50 x 600 mm extruded polystyrene, 5 mm high-density asbestos board cover, between poles

⑦ asphalt felt wind-stop, vertical exterior steel siding screwed to ④

⑧ 140 mm (RSI-3.5) friction-fit glass-fiber insulation, polyethylene vapor barrier

⑨ interior cladding (vertical plywood, etc.)

⑩ roof trusses, bolt to pole ② and bear on plate beam notched into poles

Fig. 3. Insulated pole-frame wall construction (from Canada Plan Service, plan M-9314).

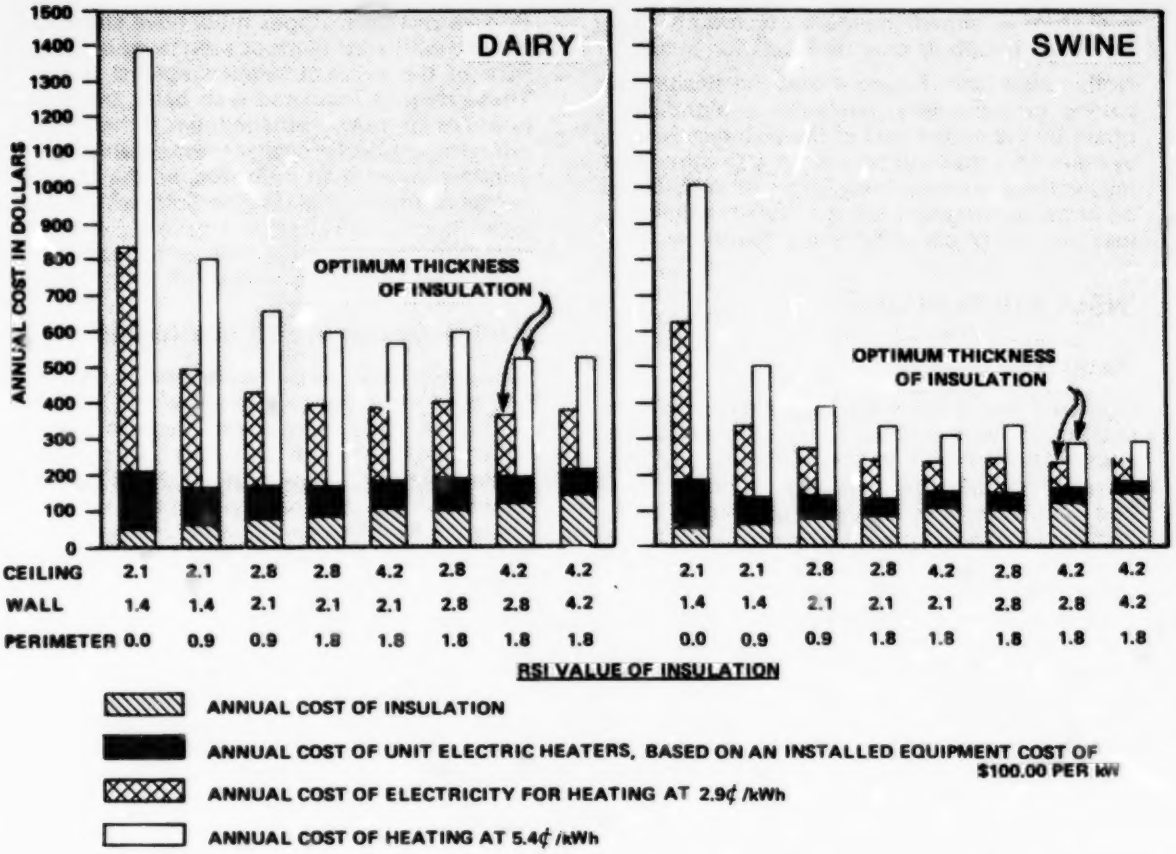

DAIRY
SWINE
ANNUAL COST IN DOLLARS
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
OPTIMUM THICKNESS OF INSULATION
OPTIMUM THICKNESS OF INSULATION
CEILING 2.1 2.1 2.8 2.8 4.2 2.8 4.2 4.2 2.1 2.1 2.8 2.8 4.2 2.8 4.2 4.2
WALL 1.4 1.4 2.1 2.1 2.1 2.8 2.8 4.2 1.4 1.4 2.1 2.1 2.1 2.8 2.8 4.2
PERIMETER 0.0 0.9 0.9 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 0.0 0.9 0.9 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8
RSI VALUE OF INSULATION
ANNUAL COST OF INSULATION
ANNUAL COST OF UNIT ELECTRIC HEATERS, BASED ON AN INSTALLED EQUIPMENT COST OF $100.00 PER kW
ANNUAL COST OF ELECTRICITY FOR HEATING AT 2.9¢ /kWh
ANNUAL COST OF HEATING AT 5.4¢ /kWh

Fig. 4 Annual insulation, heating system and electrical resistance heat cost vs amount of insulation based on a typical Saskatoon winter and a metal-clad stud wall building 10.8 x 28.8 x 2.4 m built like Figure 2, housing 42 dairy cows of 540 kg average weight at 13°C, or 420 market pigs of 57 kg at 18°C.

Minimum annual cost

Many insulated farm buildings, especially in colder parts of Canada, need a supplementary heating system. This maintains inside temperature when outside temperatures drop so low the livestock or stored product cannot produce enough heat to equal heat losses. In this situation, you have to decide how much insulation will result in the least annual total cost for the insulation plus heating equipment and heating energy. When determining the cost of thicker insulation, include the cost of the extra framing depth sometimes required to make space. Although the insulation and heating equipment costs are part of the initial cost of the construction, amortize them over the life of the building to arrive at an annual figure.

Figure 4 shows how annual insulation, heating system and electric heating costs vary with insulation thickness for a typical farm building. Examples are given for dairy cow and finishing hog structures. Notice that the total costs dip to a minimum for the best amount of insulation and tend to increase for greater or lesser amounts. In both examples, with electrical energy priced at 2.9¢/kWh, the best results are when ceiling insulation is RSI 4.2, walls are 2.8 and foundation perimeter is 1.8 (50 mm thick polystyrene).

If heat energy costs continue to increase, a well-insulated building becomes even more important. Increasing the energy cost to 5.4¢/kWh (white bars) makes a poorly insulated building much more costly to operate. Note, however, that there is no real benefit in increasing the wall insulation from RSI 2.8 to RSI 4.2, since 140 mm

wall studs as shown in Figure 2 would no longer be deep enough to provide insulation space.

Notice also from Figure 4 that the capital cost saving in using less insulation is significantly offset by the added cost of the electrical heating system. This may not be as true with other heating systems, such as those fired with natural gas, oil or propane, where a large system would cost less per unit of capacity than a small one.

INSULATION IN USE

Method of installation

Figures 2 and 3 show typical installations of insulation in two common types of farm building construction. Figure 2 uses 50 mm rigid polystyrene cast into the concrete foundation wall and protected by cement-asbestos board. Friction-fit batts are placed between 38 × 140 mm studs in the walls and between the roof trusses at the ceiling. The pole-frame wall shown in Figure 3 uses CCA pressure-treated, tongue-and-groove planking at the base. The polystyrene perimeter insulation and asbestos board cover ⑥ is optional, since wood is considerably 'warmer' than concrete. However, it is probably worth the extra cost where the winter is very cold or where the building is to be kept quite warm (for example, farrowing or poultry brooding rooms). In the upper part of the pole-frame wall, friction-fit batts are fitted lengthwise between 38 × 140 mm girts, which are placed horizontally between sawn poles and spaced vertically 600 mm on center. The poles are usually spaced 2400 mm on center.

For fruits and vegetables, insulated pallet storages may be pole-frame or stud-wall and insulated with batts (see section on vapor barriers), polystyrene or polyurethane.

If the storage is to be a controlled atmosphere unit, foam polyurethane directly on the wall and ceiling at the site. This provides both insulation and a gas seal. Walls may be stud-frame, pole-frame, or concrete block. Frameless steel arch construction is also popular, but foaming directly on the metal introduces the possibility of moisture buildup in the insulation and resulting adhesion failure.

Whenever polyurethane is exposed, cover it with a fire-protective finish, being sure to provide a good seal around light fixtures, doors, and at the floor, etc. The National Building Code of Canada requires a 15-minute fire protection. Where the Canadian Farm Building Code (1983) applies, this protection may consist of a liner of plywood or galvanized steel, with no air space allowed between the liner and the insulation. The easiest way to achieve this is to spray the polyurethane onto the *outside* face of the *inside* cladding ('inside-out construction', described later).

Bulk vegetable storages must have strong walls framed with wide studs spaced to resist the pressure of the product heaped against the walls. These may be insulated with batts, polystyrene board or sprayed urethane foam. If the storage is not refrigerated, the storage temperature will seldom be lower than outdoors, so the insulation can be economical glass fiber batts with an inside vapor barrier as shown in Figure 5. See Agriculture Canada publication 1508 for further information on bulk potato storage.

Roof insulation in cold livestock barns

Naturally ventilated barns for cattle and sheep do not have to be kept warm all winter, but a little insulation is needed under the roofing steel. Otherwise, frost will accumulate here during cold winter nights. During the night there is no problem, but in the morning the sunshine on the roof melts the frost. Annoying moisture then wets the barn framing and drips from the rafters onto the livestock and bedding below.

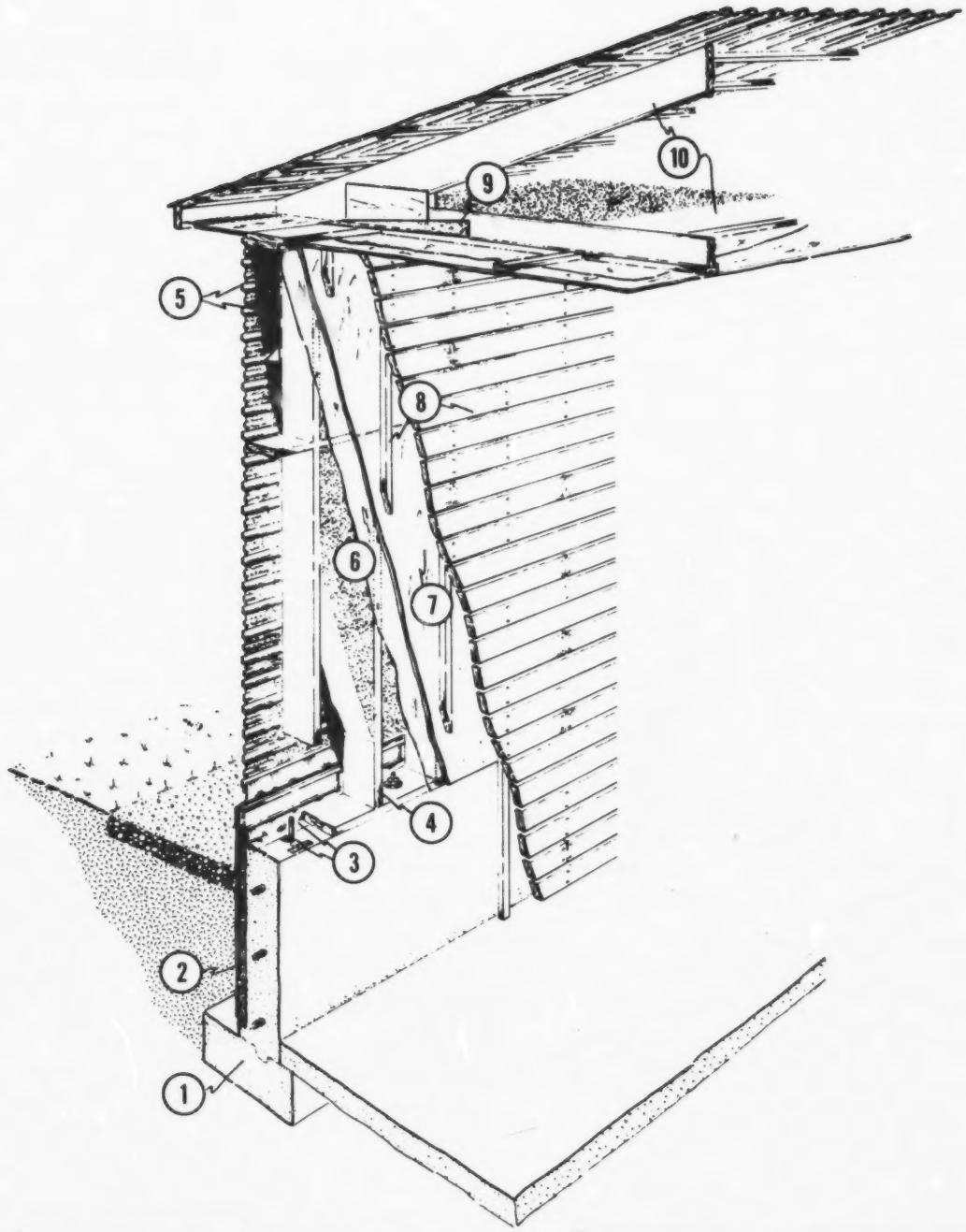
An earlier solution for this was to sandwich a 25 mm layer of polystyrene insulation board between the wood roof purlins and the steel roofing. This nicely solved the morning drip problem, but two serious difficulties remained. Birds pecked large holes in the soft polystyrene wherever they could find a perch, and the exposed plastic foam created an extreme fire hazard. This solution is not recommended.

A safer and more durable solution to the morning drip problem is to use inexpensive exterior plywood sheathing under the steel. If more insulation is required, an insulated, prefabricated roof sandwich construction has been developed by the Canada Plan Service (see plan M-9302). This consists of plywood ceiling, vapor barrier, wood roof purlins on edge, glass fiber insulation between the purlins, and finally, the steel roofing.

Vapor barriers

Insulation is used to maintain the greatest possible temperature difference between inside and outside building surfaces. Warm air normally contains much more moisture (by weight) than cold air, causing a vapor pressure difference. Moisture tends to push through the building materials from the warm side to the cold side, condensing out at any location in the insulation where the temperature gets low enough to reach dew point. Blanket and batt insulations, when wet, have less insulation value and tend to sag from the weight. Even plastic foam insulation can absorb some water and lose insulation value.

To minimize wetting in insulation, install a vapor barrier on the warm side. The vapor barrier can be 0.1 mm (4 mil) clear polyethylene or paper-reinforced aluminum foil. Use large rolls to



(1) footing and foundation to below frost, reinforced for soil and storage pressures

(2) 50 x 1200 mm extruded polystrene perimeter insulation, tack to forms with finishing nails before placing concrete

(3) steel angle and anchor bolts hold sill and studs against storage pressures

(4) 38 mm studs, width and spacing depend on storage depth

(5) asphalt felt wind-stop, vertical or horizontal exterior steel siding screwed to (4)

(6) friction-fit glass-fiber insulation, polyethylene vapor barrier

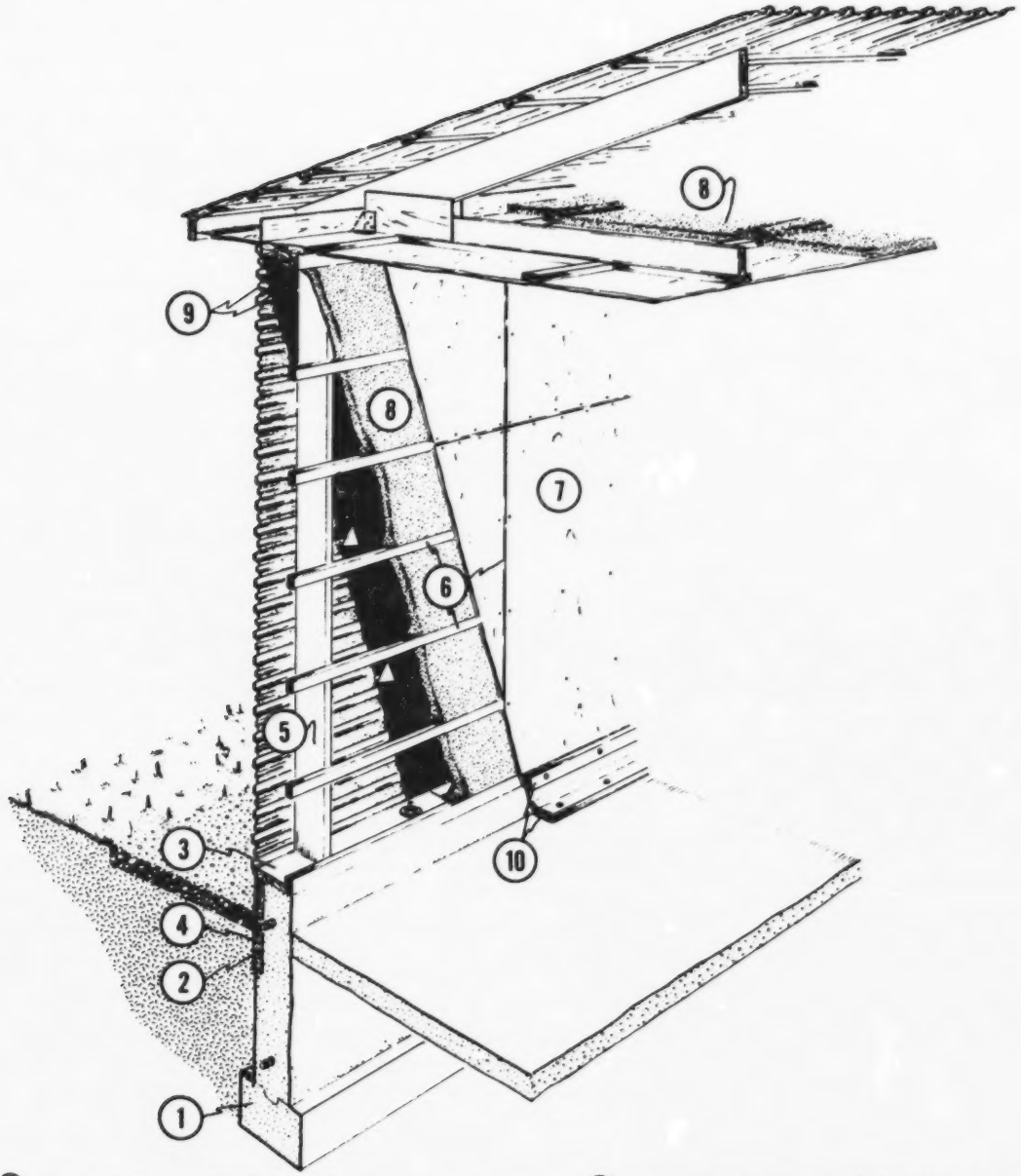
(7) 7.5 mm 'exterior sheathing' softwood plywood

(8) 38 x 38 mm strapping and 19 mm spaced boarding separates product from cool, wet wall

(9) galv. steel anchor straps tie wall to trusses to resist product pressures

(10) roof trusses, polyethylene vapor barrier, plywood diaphragm ceiling, insulation RSI-3.5 (minimum)

Fig. 5. Typical wood stud-wall construction for bulk vegetable storage (from Canada Plan Service, plan M-6110).



① concrete footing and foundation, to below frost

② 50 x 550 mm extruded polystyrene perimeter insulation, tack with finishing nails to concrete forms before placing concrete

③ 38 mm pressure-treated sill, anchor bolts @ 1 200 mm oc

④ 5 x 600 mm high-density asbestos cement board, drill and screw to edge of ③

⑤ 38 mm studs @ 1 200 mm oc, stud width depends on wall height and design wind pressure

⑥ 38 x 64 mm strapping @ 600 mm oc

⑦ 11 mm medium-density overlaid fir plywood interior cladding, galv. fasteners, joints spaced 2 mm, nails and joints caulked with silicone rubber caulking

⑧ 75 mm (min.) polyurethane foam insulation sprayed from outside and attic in good weather

⑨ asphalt felt wind-stop, horizontal exterior steel siding screwed to ⑤

⑩ membrane gas seal, caulked and clamped to floor and wall

Fig. 6. Controlled-atmosphere (CA) storage wall for fruits and vegetables stored in pallet boxes (from Canada Plan Service, plan M-6113).

minimize the number of joints. Staple to hold in place, overlapping at studs or other framework.

The location of the vapor barrier is very important. In warm livestock buildings this is on the inside; in frozen food 'cold' storages, place the vapor barrier on the outside.

There is a special problem in refrigerated 'cool' storages used for fruits and vegetables. These are held at 0° to 7°C, and the outside temperature can be colder than the storage in winter but considerably warmer in summer. In this situation it is difficult to decide where the vapor barrier should go. It should not be placed on both sides of the insulation because moisture could be trapped between the two barriers. The best rule is to place the vapor barrier on whichever is the 'warm' side when the temperature difference through the insulation is greatest for a considerable part of the year.

For example: a storage is held all year at 0°C at Brighton, Ontario, where winter design temperature is −22°C, and summer design temperature is +30°C. Since in January the temperature of this storage would be 22°C *above* that outdoors, but in July it could be 30°C *below* the outside temperature, the vapor barrier should be outside the insulation.

A better solution in 'cool' storages is to use one of the more moisture-resistant plastic foam insulations, such as polyurethane, without a vapor barrier.

A special moisture problem exists where polyurethane insulation is sprayed onto the inside of a single-skin steel building to make warm livestock housing or a temperature-controlled winter food storage. The steel building shell then becomes an effective vapor barrier on the cold (wrong) side of the insulation. Water vapor from the livestock or vegetables accumulates all winter in the insulation. This reduces the value of an already expensive (see Table 1) and hazardous insulation, and in extreme cases causes the foam to separate and fall off. A better way is to strap the inside of the building with wood furring strips spaced 600 mm on center, then insulate with batts and line with vapor barrier and sheathing.

A vapor-breathing material (usually asphalt felt) is recommended under the exterior cladding of buildings, particularly where the cladding is sheet metal and where the vapor barrier is on the inside of the insulation. It will help prevent wind-driven rain or cold drafts from penetrating the exterior cladding but will allow any water vapor in the wall spaces to escape.

Fire protection

Polyurethane and polystyrene foams are often used in modern farm buildings in exposed interior applications. However, exposed plastic foams (polyurethane, especially) have contributed to a number of disastrous farm fires. Some formulations of polyurethane foam are highly combustible and will ignite and burn when exposed to a flame or spark. Flames flash over the surface very rapidly, producing dense black toxic smoke and hot gases.

Polystyrene foam melts when exposed to heat, producing drops and pools of molten plastic that can burn if exposed to fire for enough time to drive off the fire retardants.

Many foams now have fire-retardant additives that may prevent burning when the foam is exposed to a match or cigarette. However, an 'experiment' to test such a foam might have disastrous results. Therefore, any foam, even if treated with additive, should be considered combustible and treated as such.

The National Building Code of Canada does not permit exposed plastic foam insulation for the interior surfaces of buildings — it must be covered with an acceptable 'thermal barrier' (such as plywood or galvanized steel) or special fire-resistant coatings.

Inside-out construction

A special case is the use of foamed-in-place polyurethane as a combined insulation and gas seal, for refrigerated and controlled-atmosphere food storages. Here, an improved technique is to build the structure inside-out. The framing is put up and the interior cladding (plywood, or galvanized steel) is applied. The polyurethane is then foamed onto the outside, between the frame members and against the interior cladding. Finally, exterior cladding (usually galvanized steel) is screwed on to protect against weather and rodents. The only disadvantage here is that you need a period of warm, dry weather before and during the insulating operation. If the storage is to be controlled-atmosphere, the interior gas seal cladding is usually medium-density overlaid plywood, with the joints and nail-heads sealed with high-grade caulking such as silicone rubber (see Canada Plan Service plan M-6113).

Porous ceiling ventilation systems

Porous ceiling ventilation systems have been used to reduce problems with cold winter condensation in controlled environment livestock buildings. They are particularly effective in the colder parts of Canada where livestock do not produce enough heat to make conventional ventilation systems work.

From a quarter to two-thirds of the ceiling area can be porous. One design uses a layer of dry loose hay or straw as attic insulation, supported on a ceiling of spaced boards; another supports the exposed part of the ceiling insulation with

galvanized chicken wire. As air is drawn by fans into the livestock room from the ventilated attic space, it warms up in passing down through the porous insulation. At the same time, moisture and odors migrate upward through the spaced boards or chicken wire and porous insulation. Moisture that has migrated to the attic is dispersed to the outside by wind passing through the vent slots and doors in the eaves and gables. For the porous ceiling to operate successfully, the attic must be so well ventilated that its atmosphere is almost like outdoors. Keeping fine windblown snow out of the large attic ventilation openings is the most critical problem.

Rodents

Rats and mice must be prevented from damaging perimeter insulation or entering wall cavities and attic space. Most insulations have no food value for rodents but considerable damage can still be done by burrowing, chewing and nesting. The additional cost and effort to rodent-proof farm buildings is justified, in preventing loss of insulation value, increased air leakage, and increased consumption and spoilage of livestock feed.

One way to protect perimeter foundation insulation from rodents is shown in Figure 2. Make sure that interior and exterior claddings are well installed, leaving no openings to the wall and floor, especially at ground level. Install steel flashing along the edges of deep-profile metal wall cladding to prevent rodent access, and leave no exposed edges of wood cladding that rodents can chew to gain access. Be careful to leave no opportunity for rats or mice to reach the attic space from side or end walls. Finally, make sure insulation spaces in walls are blocked with 'rodent-stopping' at intervals no greater than 3 m vertically and 6 m horizontally.

APPENDIX

Calculating RSI values and heat losses for typical farm building construction

The total insulation value (RSI) of a particular construction can be estimated by adding the resistances of all the layers of material, including the air spaces.

The following example shows the calculation of the total RSI value for Figure 2, and may be used as a guide when calculating for similar construction. Note that some insulation value (f_i) is included for the thin film of still air that clings to the inside wall surface. An air film resistance f_o is also included for the outside, but its resistance is less than f_i because of the sweeping effect of the wind. Other factors, including surface roughness, temperature and light reflectivity also have a bearing on actual surface resistance values. Typical values for f_i and f_o are included in Table 1.

Estimating the insulation value (RSI) of ceiling, wall, foundation and floor for Figure 2

	RSI value (from Table 1)
Ceiling	
Inside air film, surface resistance (f_i)	0.03
7.5 mm plywood ceiling	0.05
Polyethylene film vapor barrier	0.0
RSI-3.5 glass fiber blanket insulation	3.5
Still air film, surface resistance (f_i) to attic	0.11
Total ceiling RSI =	3.69
Wall	
Inside air film, surface resistance (f_i)	0.12
9.5 mm plywood interior sheathing	0.08
Polyethylene film vapor barrier	0.0
RSI-3.5 glass fiber blanket insulation	3.5
Vertical air space — asphalt wind stop	0.21
Sheet metal exterior	0.0
Outside air film, surface resistance	0.03
Total wall RSI =	3.94
Foundation wall (loss between concrete floor and bottom of stud wall)	
Inside surface resistance (f_i)	0.12
150 mm concrete, 0.150 × 0.55 =	0.08
50 mm polystyrene rigid insulation, 0.05 × 24.7 =	1.24
5 mm high-density, recompressed cement asbestos board	0.01
Outside surface resistance (f_o)	0.03
Total foundation RSI =	1.48
Floor	
Concrete floor to soil below	1.76
Total floor RSI =	1.76

The rate of heat loss H from a building surface in watts can be calculated using the formula $H = A(T_i - T_o)/RSI$ where A is the surface area in m^2, RSI is total insulation resistance value, T_i is inside temperature, and T_o is outside temperature, all in metric units.

The heat loss (H_p) from the perimeter of a concrete floor slab through the foundation must be estimated by another method, since the area through which heat escapes is not clearly defined. The U.S. National Bureau of Standards suggests that a perimeter loss factor (F) be used, together with the inside-to-outside temperature difference ($T - T_o$, in °C) and the perimeter (P, in

metres) of the building. Insulating the first 300 mm below grade is the most important although some heat loss occurs below this.

The formula for perimeter heat loss is

$$H_p = PF(T_i - T_o),$$

where H_p = perimeter heat loss, W
P = building perimeter, m
F = perimeter heat loss factor (see Table 3), W/(m·°C)
T_i = inside temperature, °C
T_o = outside temperature, °C

Example

What is the heat loss (not including ventilation) from a livestock building 10.8 × 21.6 × 2.4 m, with walls and ceiling insulated as in Figure 2, when the inside temperature is 18°C, outside temperature is −23°C and the ground temperature is 10°C?

(For calculations, the inside dimensions 10.5 m × 21.3 m are used and the foundation wall is assumed to be 300 mm high.)

Ceiling heat loss H =
$A(T_i - T_o)/RSI$ =
$(10.5 \times 21.3)(18-(-23))/3.69$ = 2485 W

Wall heat loss H =
$A(T_i - T_o)/RSI$ =
$2 \times 2.4 \times (10.5 + 21.3)(18-(-23))/3.95$ = 1588 W

Foundation wall heat loss H =
$A(T_i - T_o)/RSI$ =
$0.3 \times 2(10.5 + 21.3)(18-(-23))/1.48$ = 528 W

Floor perimeter heat loss H =
$PF(T_i - T_o)$ =
$2(10.5 + 21.3)(0.43)(18-(-23))$ = 1121 W

Floor heat loss to soil H =
$A(T_i - T_o)/RSI$ =
$10.5 \times 21.3(18-10)/1.76$ = 1017 W

Total building heat loss = 6739 W

Note that in the above example that there are no windows in the building (which, if included, can be a major source of heat loss). Also, heat loss has not been calculated for doors. Buildings lose heat through air leakage according to how tightly they are constructed; in farm buildings with fan ventilation this air leakage is usually considered as part or all of the ventilation requirement.

In residences and other buildings without controlled ventilation, the air leakage part of the heat loss can easily exceed the heat lost by conduction through the building shell.

TABLE 1 INSULATION VALUES AND COSTS OF COMMON INSULATION MATERIALS

Material	RSI value[a] Thickness (mm)	Per thickness shown	Per metre thickness	Approximate cost[b] $/m²	Cost/unit of RSI value $/(m²·RSI)
Mineral wool or glass fiber blanket insulation (including paper faced and friction fit, density 24-64 kg/m³)	25	0.65	25.7		
	64	1.1		1.30	0.80
	90	1.3		1.66	0.72
	100	2.6		1.95	0.75
	150	3.5		2.80	0.80
Macerated paper	100	2.5	25.0	1.55	0.62
Cellulose fiber (cotton, wood pulp, etc.)	1000		25.0		0.64
Expanded vermiculite (density 64-96 kg/m³)	1000		15.7		0.77
Dry sawdust or wood shavings (density 130-240 kg/m³)	1000		15.4		
Straw (cut, dry)	1000		9.9		
Corkboard			25.7		
Polystyrene foam					
Expanded beadboad (density 16 kg/m³)	25	0.61	24.7	1.50	2.46
Extruded type (density 29-35 kg/m³)	25	0.69-0.87	27.7-34.7	2.80	4.06-3.22
Polyurethane foam (applied at site, density 24-40 kg/m³)	25	1.04[c]	41.5[c]	5.30[d]	5.10[d]
	50	2.08[c]		10.60[d]	5.10[d]

[a] Resistance values taken from Canadian Farm Building Code 1977 and other sources

[b] These costs are included as guide to selection only. For up-to-date price information, consult a building materials supplier.

[c] These are 'aged' values for sprayed-on foam and the values may continue to decline as urethane ages. Some manufacturers claim much higher RSI values due to the foaming gases (typically freon) that are trapped in the foam during manufacturing. Since in time air with a lower insulation value tends to replace the freon, the claimed values cannot be maintained unless the faces are factory sealed with a gas tight material such as metal foil.

[d] Installation costs are included. Do not make direct comparisons to the costs of other materials unless installation costs are first added.

TABLE 2 INSULATION VALUES OF TYPICAL BUILDING MATERIALS, AIR SPACES, WINDOWS AND CONCRETE FLOORS

Materials	Thickness (mm)	RSI value	
		At thickness listed	Per meter thickness
Building boards and papers			
Asbestos board	5	0.01	
Fir plywood	9	0.08	
Aspen flakeboard (Aspenite, etc.)	6	0.08	
Fiberboard (Ten-test, etc.)	12	0.23	
Asphalt felt		0.01	
Polyethylene film vapor barrier	100 μm	0.00	
Frame construction			
Wood sheathing and building paper	19	0.20	
Same, add lap siding		0.35	
Lap siding or wood shingles		0.14	
Solid wood sheathing, pine or fir	25	0.22	
Roofing materials			
Built-up bitumen and felt	9	0.06	
Asphalt shingles		0.08	
Concrete and masonry			
Plain or reinforced concrete (density 2240 kg/m^3)	200	0.11	0.55
Lightweight concrete (density 1900 kg/m^3)	200	0.26	1.32
1280	200	0.55	2.77
640	200	0.19	5.96
480	200	1.54	7.69
320	200	1.98	9.91
Concrete block oval cores	200	0.20	
Concrete block, oval cores plus vermiculite fill	200	0.32	
Lightweight block (expanded shale, clay, slate, slag or pumice)	200	0.35	
Same, plus vermiculite fill	200	0.70	
Surface resistances			
f_o for outside wall (24 km/h wind)		0.30	
f_i for inside surface (no wind)			
Ceiling (horizontal surface)		0.11	
Wall (vertical surface)		0.12	
Vertical air space in wall, 20 mm or larger		0.21	
Windows (including resistances of air space and surfaces)			
One vertical glass sheet		0.16	
Two vertical glass sheets, air space 12 mm		0.32	
Two vertical glass sheets, air space 25 mm or greater		0.33	
Air 150 mm above concrete floor to ground (temperature difference 11°C)		1.76	

TABLE 3 TYPICAL FLOOR PERIMETER HEAT LOSS FACTORS

Description of floor perimeter	Perimeter heat loss factor (F)
Normal concrete not insulated	1.42
Normal concrete insulated near the exterior face to 300 mm below exterior grade with rigid insulation having RSI = 0.7	0.85
Normal concrete insulated near the exterior face to 300 mm below exterior grade with rigid insulation having RSI = 1.4	0.43

CONVERSION FACTORS

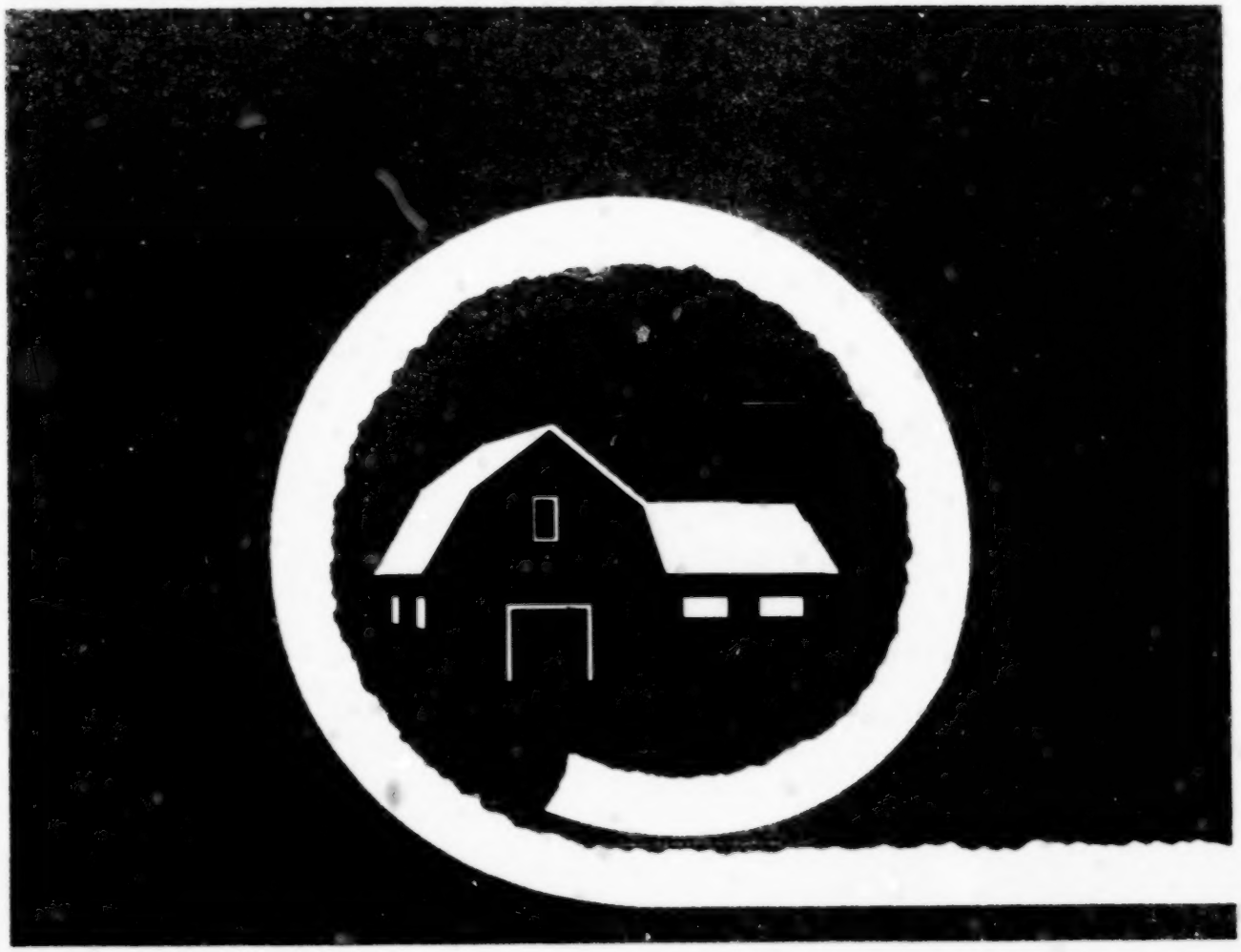
Imperial Units	***X***	***Conversion factor***	***= Metric Units***
R $\frac{(hr \cdot ft^2 \cdot °F)}{(BTU)}$		0.176	RSI $\frac{(m^2 \cdot K^*)}{(W)}$
¢/ft^2		0.108	$/m^2
¢(ft^2·°R)		0.611	$/(m^2·RSI)
R per unit of thickness:			
R $\frac{(hr \cdot ft^2 \cdot °F)}{(BTU \cdot in)}$		6.934	RSI $\frac{(m^2 \cdot K^*)}{(W \cdot m)}$
Perimeter heat loss factor per unit of length:			
F $\frac{(BTU)}{(hr \cdot °F \cdot ft)}$		0.001556	F $\frac{(W)}{(K \cdot m)}$

* The K is the unit of temperature interval and is equivalent to a temperature difference of 1°C.

ISOLATION THERMIQUE DES BÂTIMENTS AGRICOLES

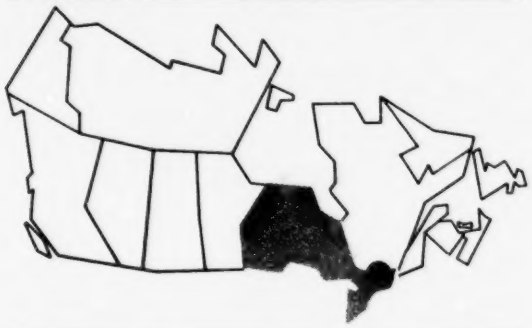
Agriculture Canada

Publication 1601/F



Canada

PUBLICATION FÉDÉRALE/PROVINCIALE



CANADA/ONTARIO

ISOLATION THERMIQUE DES BÂTIMENTS AGRICOLES

La présente publication est une révision de la publication 96 de l'Ontario. Dans le cadre du programme de publication fédéral-provincial, Agriculture Canada a accepté de l'imprimer.

JOHN E. TURNBULL
Service de recherches techniques
Direction générale de la recherche, Agriculture Canada
Ottawa

GEORGE F. MONTGOMERY
(anciennement) Institut de recherches techniques et de statistique
Direction générale de la recherche, Agriculture Canada
Ottawa

AGRICULTURE CANADA
PUBLICATION 1601
RÉVISION 1983

PUBLICATION 1601F, on peut obtenir des exemplaires à la Direction générale des communications, Agriculture Canada, Ottawa K1A 0C7

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1983
N° de cat. A—15—1601/1983F ISBN: 0-662-92245-X
Révision 1983 1M—10:83

Also available in English.

TABLE DES MATIÈRES

POURQUOI ISOLER? 4

Déperditions caloriques 4
Condensation 4

TYPES D'ISOLANTS 4

Matériaux isolants 4
Comparaison des valeurs de résistance thermique 6

COMBIEN D'ISOLANT UTILISER 6

Épaisseur des murs 6
Plafonds 6
Périmètre de la fondation 9
Condensation 9
Coût annuel minimal 9

MISE EN PLACE DES MATÉRIAUX ISOLANTS 10

Méthodes de pose 10
Isolation du toit des bâtiments à bétail, non chauffés 13
Coupe-vapeur 13
Protection-incendie 14
Construction "à l'envers" 14
Plafonds poreux 14
Rongeurs 14

APPENDICE 15

Calcul de la cote RSI et des déperditions caloriques des bâtiments agricoles types. 15

Évaluation de la résistance thermique (RSI) du plafond, du mur, de la fondation et du plancher du bâtiment illustré à la Figure 2. 15

ISOLATION THERMIQUE DES BÂTIMENTS AGRICOLES

L'isolation est devenue un élément important des bâtiments modernes pour le bétail et la volaille. Il est indispensable dans le cas d'entrepôts pour fruits, légumes et aliments congelés.

POURQUOI ISOLER?

L'isolation des bâtiments répond aux besoins suivants ou à certains d'entre-eux:
— réduction de la déperdition de chaleur en hiver (ou de son accroissement en été)
— réduction de la condensation
— résistance au feu (murs coupe-feu, etc.)

Déperditions caloriques

L'isolation a comme premier but de réduire la déperdition calorique d'un bâtiment. Un bâtiment à bétail bien calorifugé peut ne nécessiter qu'un peu ou pas du tout de chaleur en plus de celle dégagée par le bétail lui-même.

L'isolation réduit les pertes de chaleur entraînées par la conduction, la convection, le rayonnement et les fuites d'air.

La ***conduction*** de la chaleur est le phénomène par lequel la chaleur est transmise d'une particule à l'autre par contact. Les matériaux légers comme l'air et les matériaux isolants conduisent beaucoup moins de chaleur que des matériaux plus lourds comme les métaux.

Les pertes par ***convection*** se produisent lorsque de l'air frais circule dans un endroit fermé (comme à l'intérieur d'un mur à montants), absorbe de la chaleur en montant le long d'une surface tiède et la perd en descendant le long d'une surface froide. Le remplissage du vide avec un isolant réduit au minimum le déplacement de l'air.

Les pertes par ***rayonnement*** se produisent lorsque l'énergie calorifique se propage directement à travers un espace ouvert. L'air transmet l'énergie radiante mais les matériaux isolants et les surfaces réfléchissantes l'arrêtent considérablement.

Les ***fuites d'air*** résultent principalement de l'effet du vent qui fait pénétrer de l'air froid du côté exposé d'un bâtiment et entraîne une quantité correspondante d'air tiède à travers le côté opposé. Une construction étanche, dans laquelle des coupe-vapeur étanches sont fixés près de la face intérieure des murs, et des matériaux coupe-vent perméables à la vapeur du côté extérieur réduisent les fuites d'air.

Condensation

La condensation et la détérioration qui en résulte peuvent être un bien plus grand problème pour les murs intérieurs et les plafonds des bâtiments à bétail que pour ceux d'une maison, à cause de l'humidité relative beaucoup plus élevée et de la température intérieure souvent plus basse. L'eau contenue dans l'air de pièces humides se condense sur les surfaces froides des murs et du plafond. Si ces surfaces sont maintenues assez chaudes grâce à une isolation suffisante, l'air qui est en contact avec elles se maintient au-dessus du point de rosée et aucune condensation ne se produit.

La Figure 1 illustre un mur qui, insuffisamment isolé (comme un mur en blocs de béton ordinaires), est couvert de condensation sur sa face intérieure alors que le mur à ossature de bois mais bien isolé demeure chaud et sec. Il est à noter que les températures intérieure et extérieure, ainsi que le niveau d'humidité, sont les mêmes pour les deux murs.

Cependant, la surface intérieure du mur en blocs de béton insuffisamment isolé (à 1°C) est plus froide que le point de rosée (10,5°C) de l'air humide de la pièce. Par contre, la surface intérieure du mur à ossature de bois, bien calorifugée, n'est que légèrement plus froide que l'air de la pièce (13°C comparé à 15°C). Cette température, plus élevée que le point de rosée, n'entraîne pas de condensation.

TYPES D'ISOLANTS

Matériaux isolants

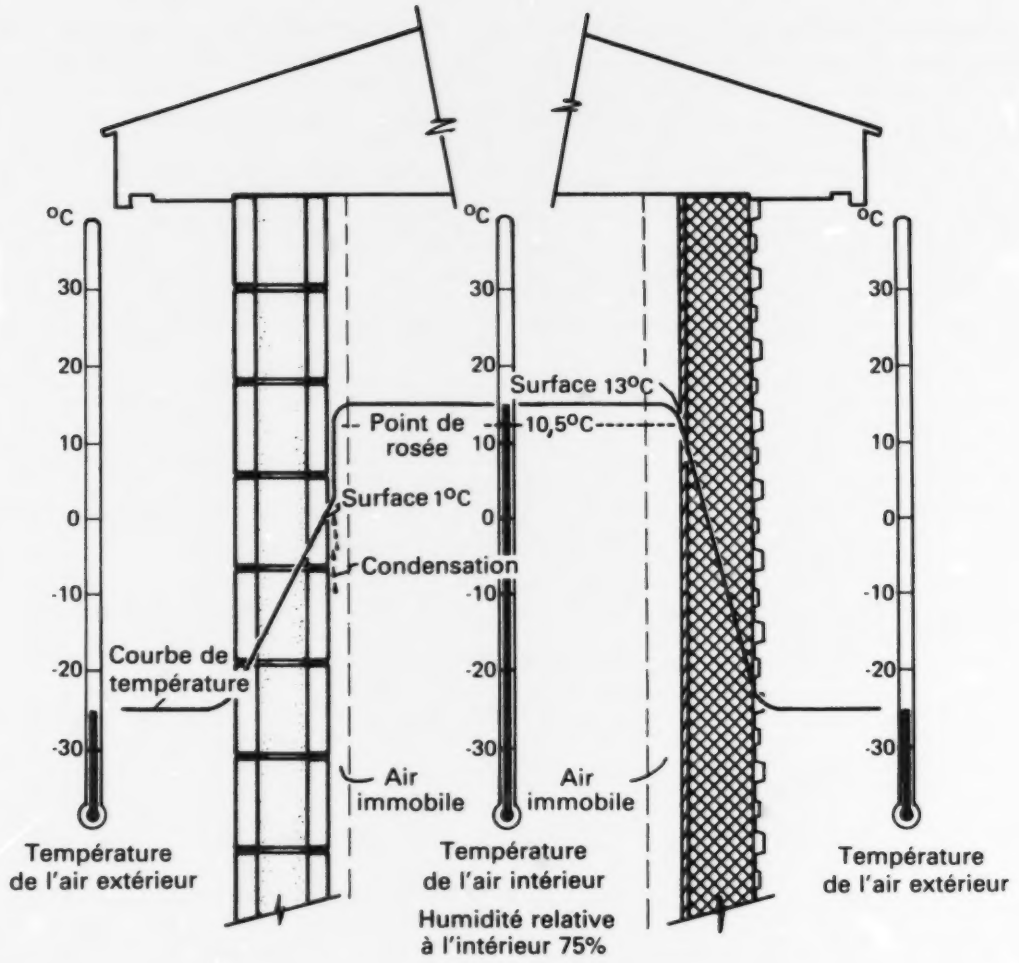
En matelas fibreux

Laine minérale et fibre de verre Ces deux matériaux sont relativement bon marché, ignifuges et très efficaces pour réduire le transfert de chaleur. Ils sont emballés comme des matelas empilés ou roulés, selon leur épaisseur.

Les matelas sont fabriqués en largeurs appropriées pour s'ajuster entre les montants d'une ossature de bois, l'espacement des montants étant de 400 à 600 mm; c'est là une caractéristique importante qu'il faudrait prendre en considération lors de la construction de l'ossature des bâtiments agricoles où l'isolant pourrait être posé soit au moment de la construction soit ajouté par la suite.

Les matelas d'isolants peuvent être recouverts de papier; souvent l'une des faces en papier est étanche et sert en même temps de coupe-vapeur. Il faut poser le matelas de sorte que la surface coupe-vapeur soit du côté intérieur du mur ou du plafond. Ce coupe-vapeur est discontinu et peut facilement être percé par les rongeurs, il et donc recommandé de la doubler d'un autre coupe-vapeur, comme un film de polyéthylène.

L'isolant à ajustement serré constitue une amélioration des matelas calorifuges en fibre de verre. Il est plus élastique et mieux assemblé ce



(A) Mur en blocs de béton 200 mm (B) Mur à montants bien isolé

Figure 1 Prévention de la condensation à la surface des murs grâce à une bonne isolation

qui élimine le besoin d'un revêtement de papier. L'isolant à ajustement serré s'ajuste mieux entre les montants et les solives, que les vieux matériaux à revêtement de papier et reste mieux en place. Il n'est pas habituellement muni d'un coupe-vapeur intégré.

En vrac

Laine minérale en vrac Ce calorifuge est disponible en vrac, emballé dans des sacs de papier. Il est plus coûteux au mètre carré que les matelas; son seul avantage est qu'il peut être déversé ou soufflé dans des endroits horizontaux d'accès difficile, comme les attiques où il serait difficile d'installer des matelas.

Vermiculite Le vermiculite est un minéral (mica) qui a été expansé (comme le maïs soufflé) pour devenir un isolant en grains légers. Il s'étend mieux dans des endroits renfermés que la laine minérale en vrac. Il sert parfois à remplir les alvéoles des blocs de béton à agrégats légers afin d'améliorer la résistance thermique des murs en maçonnerie de béton.

Fibre de cellulose La pâte de bois ou le papier journal, macérés, produisent un bon isolant en vrac à condition d'être traité avec des produits ignifuges. Certains isolants de fibre de cellulose traité sont, dit-on, la cause de la corrosion de câbles électriques et d'appareils d'éclairage.

Mousse de polystyrène pulvérisée Les rebuts et les retailles de fabrication de mousse plastique rigide peuvent être granulés et servir d'isolant en vrac. Dans les endroits humides, ce matériau absorbe probablement moins d'humidité que les autres calorifuges en vrac.

En mousse de plastique rigide

Mousse de polystyrène Cette mousse est produite en panneaux "granuleux" ou en panneaux "extrudés". Le panneau granuleux est fabriqué par expansion de granules de polystyrène dans un moule, formant des plaques d'environ 1200 × 2400 mm. Après leur durcissement, les plaques sont tranchées, avec un fil chaud, en feuilles de 13 à 100 mm d'épaisseur. Les panneaux granulés peuvent être utilisés sur le sol sec, comme sous des planchers de béton minces (ex.: salles de mise bas) et comme isolant périmétrique des fondations à condition d'être protégé des intempéries et des rongeurs (voir Figure 2). Le panneau extrudé est plus dense et formé par production de mousse et extrusion continues. Il peut avoir un fini étanche lisse ou, s'il est refendu, présenter une surface cellulaire texturée qui peut servir de base pour le plâtre. Le panneau extrudé résiste mieux à l'eau et à la vapeur d'eau que le panneau granuleux, ce qui le rend plus utile dans les endroits humides. Il sert, par exemple, de volets réglables d'admission d'air pour la ventilation des bâtiments à bétail. Il est également utilisé couramment comme support et isolant sous les planchers en béton qui supportent des charges plus lourdes comme les tracteurs et les chariots-élévateurs.

Mousse de polyuréthane Elle peut être prémoulée en plaques rigides, comme la mousse de polystyrène, ou elle peut être moussée en place pour isoler un bâtiment à murs creux. Elle sert à la fabrication de panneaux sandwich pour bâtiments et d'autres produits comme les réfrigérateurs. À la ferme, l'entrepreneur vaporise habituellement, à l'aide d'un équipement spécial, la mousse à l'état liquide sur les surfaces à calorifuger. Elle mousse et durcit rapidement, puis continue à se dilater très lentement avec le temps. C'est le contraire dans le cas du polystyrène, lequel rétrécit légèrement avec le temps. Le polyuréthane, parce qu'il peut être vaporisé par-dessus les fentes et les aspérités pour former une couche continue, et parce qu'il se dilate avec le temps, produit une membrane étanche. C'est là un avantage, tout spécialement dans les entrepôts à atmosphère contrôlée où l'étanchéité à l'air est nécessaire.

La mousse de polyuréthane est par sa structure similaire à la mousse de polystyrène; toutefois, ses bulles ne sont pas remplies d'air mais de fréon. Comme le fréon est meilleur calorifuge que l'air, la mousse de polyuréthane résiste mieux au passage de la chaleur. Elle est cependant plus coûteuse. La résistance thermique de la mousse de polyuréthane fraîche est plus élevée que celle qui est indiquée au Tableau 1 (voir Appendice) mais, au fur et à mesure que le fréon s'échappe, cette résistance diminue.

L'isolant de polyuréthane et certaines catégories d'isolants au polystyrène présentent un RISQUE D'INCENDIE spécial lorsqu'ils sont laissés à découvert et sans protection (voir la section Protection-incendie).

Mousse d'urée formaldéhyde Elle est produite en mettant une résine d'urée formaldéhyde sous pression d'air avec un agent moussant. Elle peut être injectée dans des endroits inaccessibles ou difficiles d'accès. Elle est légère, avec une masse volumique normale de 11 kg/m. En séchant, elle rétrécit de 3% en volume, la première année. Ce rétrécissement continue pendant une période indéfinie et provoque des fentes et des vides dans l'isolant; c'est pourquoi une norme de l'Office des normes générales du Canada a réduit la cote RSI de cette mousse à 60% de la valeur obtenue en laboratoire. Il y a aussi possibilité de dégagement lent de gaz de formaldéhyde.

Comparaison des valeurs de résistance thermique

La plupart des isolants ont été éprouvés en laboratoire afin de déterminer leur résistance thermique (cote RSI). Plus la cote RSI, par unité d'épaisseur, est élevée, meilleur est l'isolant. La cote RSI de divers matériaux calorifuges est présentée au Tableau 1 (voir Appendice). Le coût approximatif de la plupart des isolants y est également présenté, ainsi que le coût par unité RSI. Cette dernière donnée indique le coût par rapport à l'efficacité de l'isolant; elle est déterminée en divisant le coût du matériau par la cote RSI, à l'épaisseur donnée. Par exemple, pour un isolant en matelas de RSI 2,3, dont le coût est de 1,66 $/m^2, le coût par unité RSI est de 1,66 $/2,3 = 0,72 $/m^2·RSI).

COMBIEN D'ISOLANT UTILISER

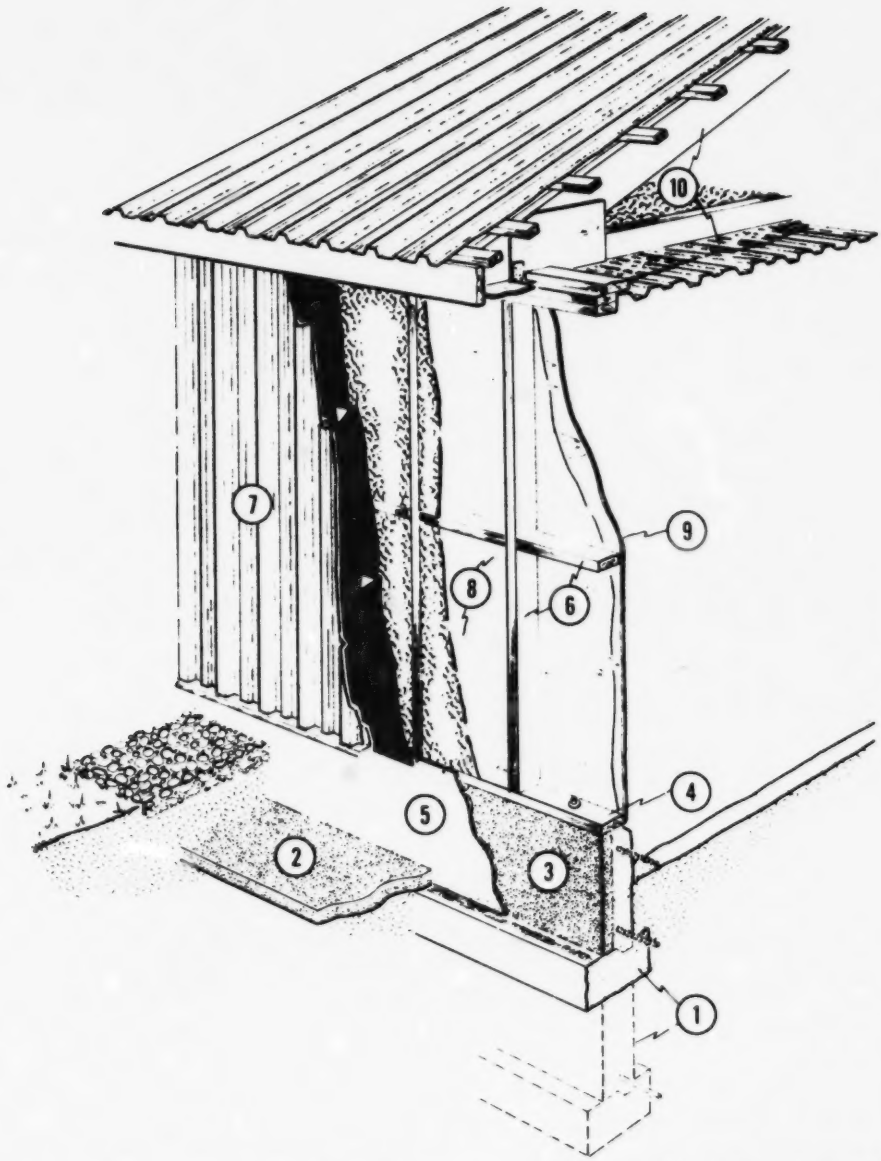
Plusieurs facteurs déterminent la quantité d'isolant à installer dans le plafond, dans les murs et sur le périmètre de la fondation d'un bâtiment agricole.

Épaisseur des murs

Dans les murs de plusieurs bâtiments, l'espace entre le parement intérieur et le parement extérieur limite la quantité d'isolant. De nos jours, la plupart des bâtiments agricoles conventionnels à montants ou à poteaux sont faits de pièces sciées et rabotées de 140 mm, ce qui laisse assez de place pour l'isolation.

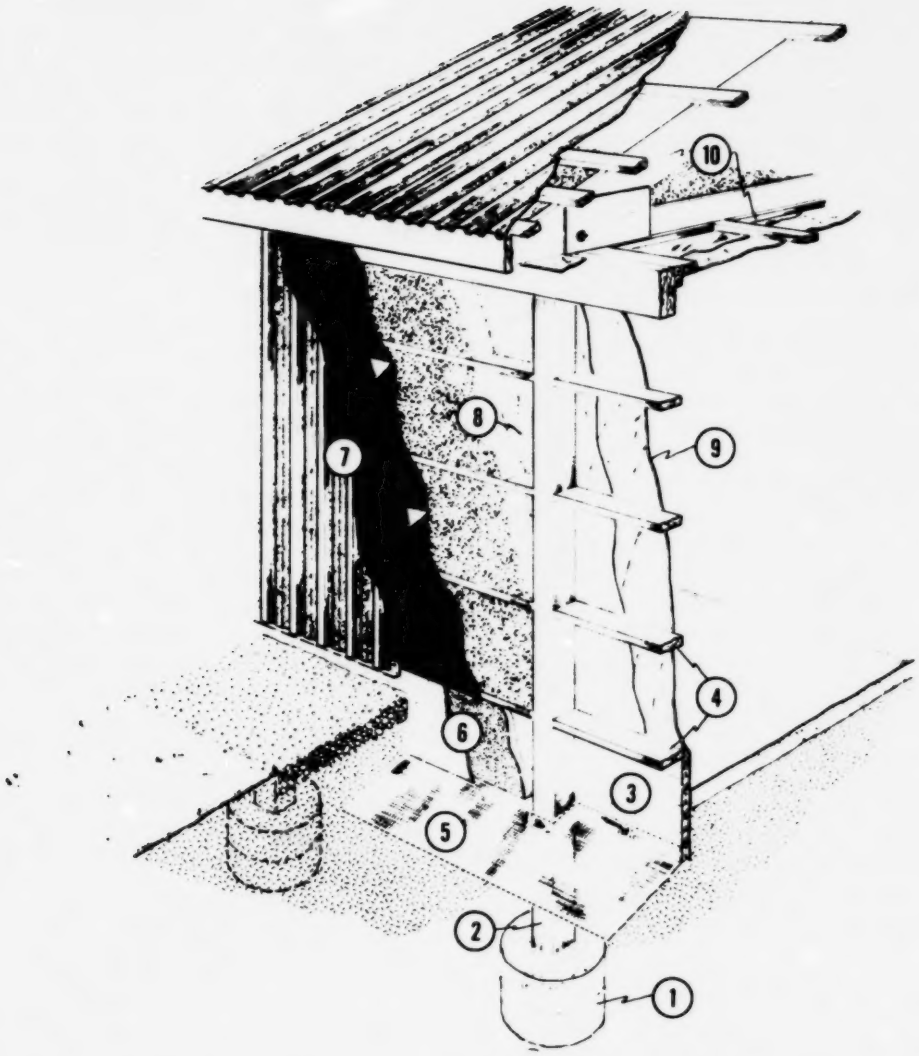
Plafonds

L'isolation des plafonds dans les bâtiments à toit soutenu par des fermes (Figures 2 et 3) pourrait dépasser 140 mm d'épaisseur, si on le désire.



1. Semelle profonde ou peu profonde, sous seuil de gel
2. Isolation horizontale périmétrique en polystyrène extrudé 50 × 600 mm, (nécessaire pour semelles peu profondes sous climat froid)
3. Isolation périmétrique en polystyrène extrudé 50 × 550 mm, fixé au coffrage avec des clous à finir avant de couler le béton
4. Lisse traitée sous pression selon l'ACC, 38 × 140 mm, boulons d'ancrage aux 1200 mm
5. Panneaux d'amiante-ciment haute densité 5 × 600 mm, percés et vissés sur (4)
6. Montants 38 × 140 mm aux 600 mm, entremises et sablières assorties
7. Coupe-vent en feutre bitumineux, parement extérieur en acier, vertical ou horizontal, vissé sur (6)
8. Isolant en fibre de verre posé par friction 140 mm (RSI 3,5), coupe-vapeur en polyéthylène
9. Parement intérieur (contreplaqué horizontal, etc.)
10. Fermes de toit, coupe-vapeur polyéthylène, plafond en tôle d'acier, matériau isolant RSI-3,5 (au moins)

Fig. 2. Construction d'un mur isolé à montants (tiré du plan M-9324, Service des plans du Canada)



1. Socle en béton et ancrage, 750 mm de diam. min., sous seuil de gel
2. Poteau traité sous pression selon l'ACC, 140 × 140 × 4200 mm aux 2400 mm, fixé à (1) par tiges d'acier
3. Planches à rainure et languette, traitées sous pression selon l'ACC, 38 × 144 × 4800 mm, planche supérieure à feuillure pour (9)
4. Entremises 38 × 140 mm clouées en biais entre les poteaux aux 600 mm, entremise inférieure traitée sous pression
5. Treillis métallique galv. 12 × 12 mm pour arrêter les rongeurs
6. Isolation périmétrique optionnelle, polystyrène extrudé 50 × 600 mm, revêtement panneaux d'amiante haute densité 5 mm, entre les poteaux
7. Coupe-vent en feutre bitumineux, parement extérieur en acier, vertical, vissé sur (4).
8. Isolant en fibre de verre, posé par ajustement serré, 140 mm (RSI-3,5), coupe-vapeur en polyéthylène
9. Parement intérieur (contreplaqué vertical, etc.)
10. Ferme de toit, boulonnée au poteau (2), appuyée sur la sablière, calée sur poteaux encochés

Fig. 3. Construction d'un mur isolé, à poteaux (tiré du plan M-9314, Service des plans du Canada)

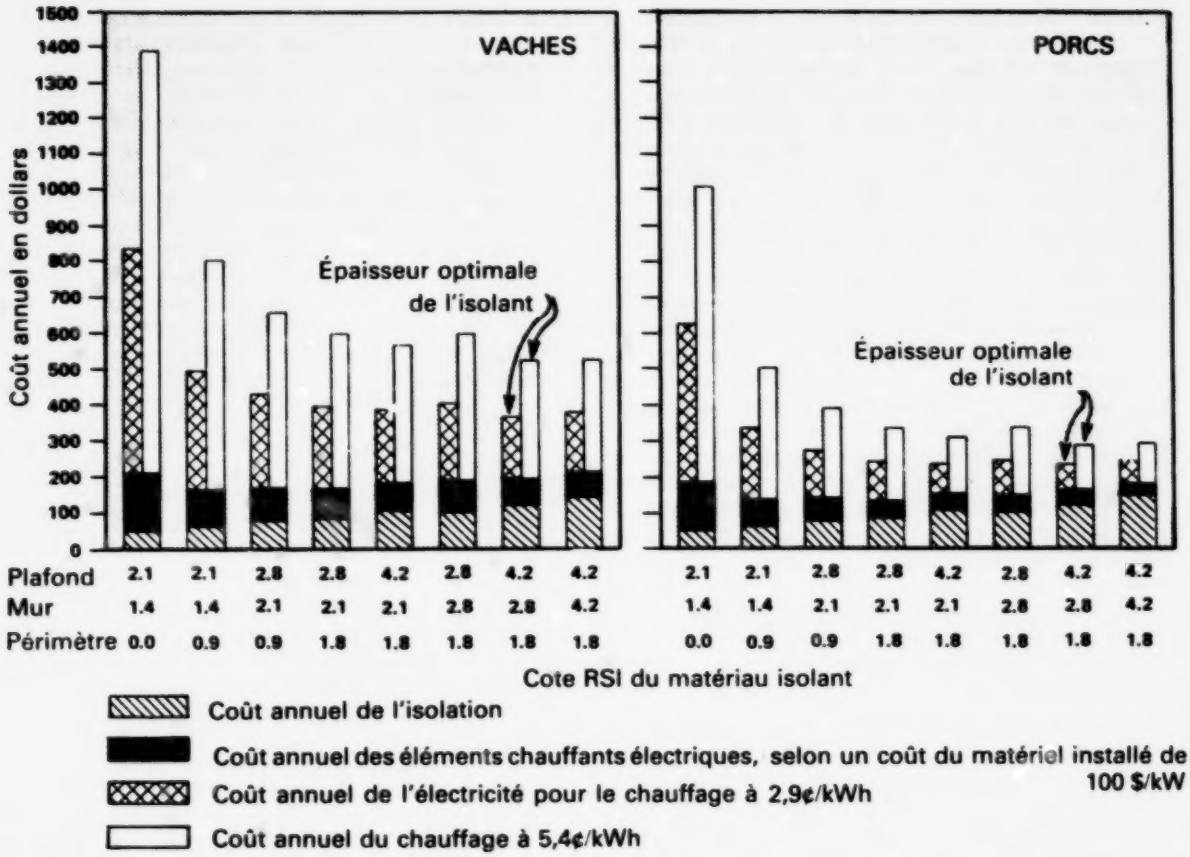

VACHES
PORCS
Coût annuel en dollars
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
Épaisseur optimale de l'isolant
Épaisseur optimale de l'isolant
Plafond 2.1 2.1 2.8 2.8 4.2 2.8 4.2 4.2 2.1 2.1 2.8 2.8 4.2 2.8 4.2 4.2
Mur 1.4 1.4 2.1 2.1 2.1 2.8 2.8 4.2 1.4 1.4 2.1 2.1 2.1 2.8 2.8 4.2
Périmètre 0.0 0.9 0.9 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 0.0 0.9 0.9 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8
Cote RSI du matériau isolant
Coût annuel de l'isolation
Coût annuel des éléments chauffants électriques, selon un coût du matériel installé de 100 $/kW
Coût annuel de l'électricité pour le chauffage à 2,9¢/kWh
Coût annuel du chauffage à 5,4¢/kWh

Fig. 4. Coût annuel de l'isolation, du dispositif de chauffage et du chauffage électrique comparé à la quantité d'isolant, basé sur un hiver type à Saskatoon et un bâtiment à ossature à montants et à parement métallique, de 10,8 × 28,8 × 2,4 m, construit selon la Figure 2. Ce bâtiment loge 42 vaches laitières d'un poids moyen de 540 kg à 13°C, ou 420 porcs de 57 kg, prêts pour le marché, à 18°C.

Périmètre de la fondation

Cette partie du bâtiment est le plus souvent oubliée au moment de l'isolation. Dans le cas de nouveaux bâtiments, la meilleure façon est de fixer, à l'aide de clous à finir, des panneaux de polystyrène (en panneaux soit granuleux, soit extrudés et refendus) sur la face intérieure de la partie extérieure du coffrage. Lors de la mise en place du béton, celui-ci se fixe solidement au polystyrène et, lors du décoffrage, les clous passent facilement à travers le polystyrène.

Ce procédé laisse le panneau calorifuge fixé à la face extérieure de la fondation, là où il et le plus efficace pour limiter les pertes de chaleur et les variations de température du béton. Un revêtement extérieur en panneaux d'amiante à haute densité, ou un support d'enduit et un plâtre-ciment, protège l'isolant contre les intempéries et le rongeurs (voir Figure 2).

Condensation

Toujours installer suffisamment d'isolant dans les murs et le plafond pour éliminer la condensation sur le parement intérieur, même si c'est plus que suffisant pour maintenir un équilibre de température (quand la chaleur produite dans le bâtiment égale la chaleur perdue de diverses façons: ventilation, plafond, murs, portes, fenêtres, fondation et plancher). La chaleur peut être produite par les animaux, la respiration des fruits et légumes entreposés ou par un dispositif de chauffage.

Coût annuel minimal

Plusieurs bâtiments agricoles isolés, particulièrement dans les régions les plus froides du Canada, requièrent un dispositif de chauffage additionnel. Ce dispositif maintient la température intérieure lorsque la température extérieure descend telle-

ment que le bétail ou les produits entreposés ne suffisent plus à compenser les pertes de chaleur. Dans un tel cas, il faut décider quelle quantité d'isolant entraînera le coût annuel le moins élevé pour l'isolant, le dispositif de chauffage et l'énergie globalement. En évaluant le coût d'un matériau isolant plus épais, il faut inclure le coût de l'épaisseur supplémentaire de la charpente que cela entraîne parfois. Bien que le coût du dispositif de chauffage et de l'isolation fassent partie du coût de construction initial, il faut les répartir sur la durée utile du bâtiment pour en arriver à un coût annuel. La Figure 4 montre dans quelle mesure les coûts du dispositif de chauffage, de l'isolation et du chauffage électrique varient avec l'épaisseur de l'isolant d'un bâtiment agricole type. On y trouve des exemples pour des installations de vaches laitières et de porcs à l'engrais. Il est à noter que le coût total est réduit au minimum avec la quantité optimale de calorifuge et tend à augmenter avec des quantités supérieures ou inférieures. Dans les deux exemples, basés sur le coût d'énergie électrique de 2,9 ¢/kWh, les meilleurs résultats sont obtenus avec des résistances thermiques de 4,2 pour le plafond, 2,8 pour les murs et 1,8 pour le périmètre de la fondation (50 mm de polystyrène).

Si le coût de l'énergie continue à augmenter, il devient d'autant plus important qu'un bâtiment soit bien isolé. L'augmentation du coût de l'électricité à 5,4 ¢/kWh (barres blanches) rend un bâtiment insuffisamment isolé beaucoup plus dispendieux. Il faut noter cependant qu'il n'y a aucun avantage réel à augmenter la cote RSI de l'isolant des murs de 2,8 à 4,2, puisque les montants de 140 mm, illustrés à la Figure 2, ne sont pas assez larges pour loger le matériau additionnel.

Noter également à la Figure 4, que l'économie réalisée en posant moins d'isolant est pratiquement supprimée par le coût additionnel du chauffage électrique. Cela peut être différent s'il s'agit de chauffage au gaz naturel, au mazout ou au propane, puisqu'un gros dispositif de chauffage coûte moins cher par unité de capacité qu'un dispositif plus petit.

MISE EN PLACE DES MATÉRIAUX ISOLANTS

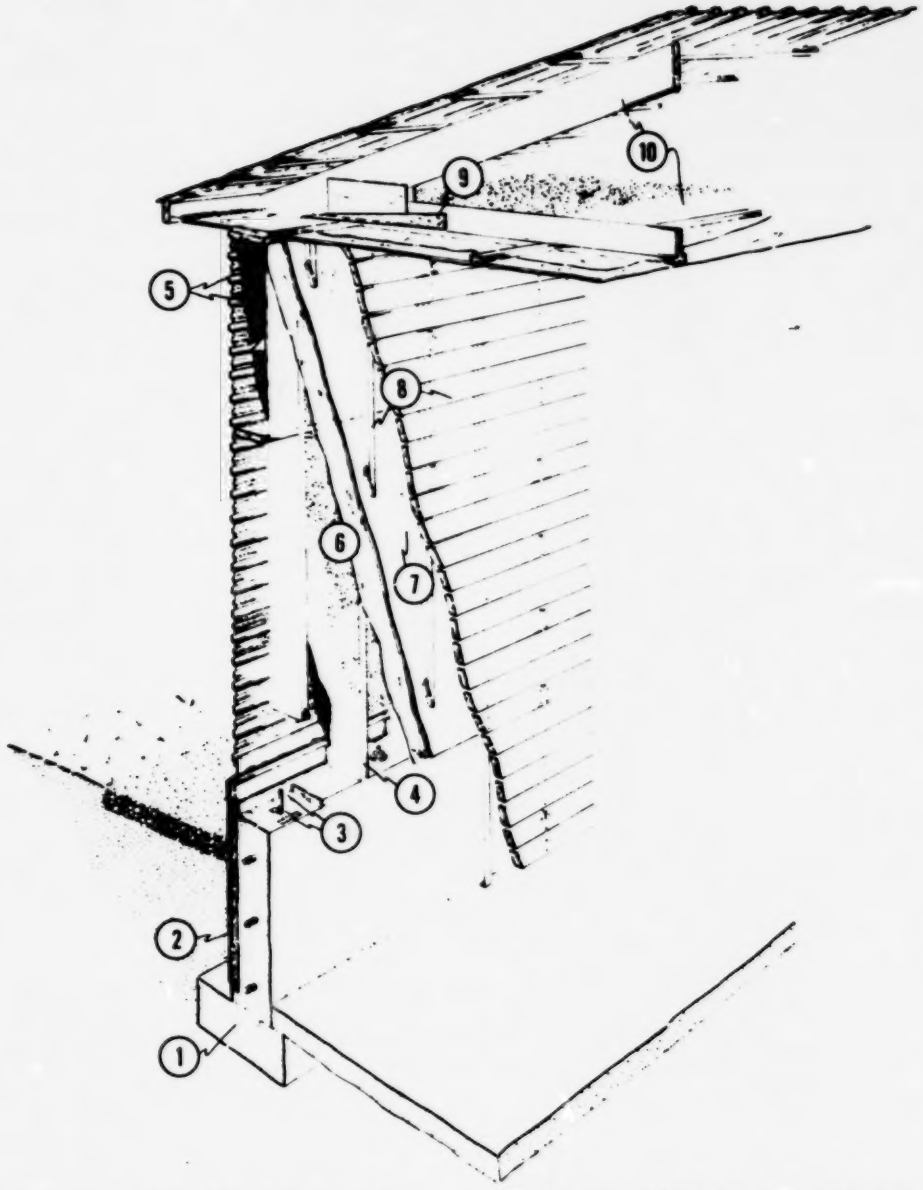
Méthodes de pose

Les Figures 2 et 3 présentent des installations types d'isolants dans deux types communs de bâtiments de ferme. La Figure 2 montre des panneaux de polystyrène rigides de 50 mm, fixés au mur de fondation lors de la mise en place du béton, et protégés par des panneaux d'amiante-ciment. Des matelas à ajustement serré sont enfoncés entre les montants de 38 × 140 mm des murs et entre les fermes du plafond. Le mur à poteaux de la Figure 3 comporte à sa base des planches à rainure et languette, traitées sous pression, selon l'ACC. L'isolation périmétrique de polystyrène et le revêtement en panneaux d'amiante ⑥ sont optionnels, puisque le bois est considérablement plus chaud que le béton. Cependant, le coût supplémentaire en est probablement justifié dans les régions où l'hiver est très froid, ou lorsque des bâtiments doivent être plus chauds (par ex.: salles de mise bas ou d'élevage de poussins). Dans la partie supérieure du mur à poteaux, les matelas à ajustement serré sont assujettis sur leur longueur entre les entremises de 38 × 140 mm entre les poteaux sciés et espacés de 600 mm verticalement. Les poteaux sont habituellement espacés de 2400 mm.

Les murs des entrepôts où les fruits et légumes sont emmagasinés sur palettes, peuvent être à poteaux (Figure 3) ou à montants (Figure 2) et isolés avec des matelas (voir la partie "coupe-vapeur"), du polystyrène ou du polyuréthane.

Si l'entrepôt est à atmosphère contrôlée, la mousse de polyuréthane peut être posée directement sur les murs et le plafond, ce qui offre à la fois l'isolation et l'étanchéité. Les murs peuvent être à montants ou à poteaux ou en blocs de béton. Les constructions à arceaux d'acier sans ossature servent aussi à cet usage, mais la pose de la mousse directement sur le métal peut entraîner l'accumulation d'humidité dans l'isolant et provoquer des défauts d'adhérence. Couvrir le polyuréthane à découvert d'un fini ignifuge, et bien obturer le pourtour des appareils d'éclairage et des portes, le bas des murs, etc. Le Code national du bâtiment prescrit une protection ignifuge de 15 minutes. Dans les endroits où le Code canadien de construction des bâtiments agricoles (1983) le permet, cette protection peut être constituée d'un parement intérieur en contreplaqué ou en acier galvanisé, avec un matériau isolant collé directement, sans espace d'air, au parement. La façon la plus facile de réaliser ceci est de vaporiser le polyuréthane sur la face *extérieure* du parement *intérieur* (Construction "à l'envers", décrite plus loin).

Les murs des entrepôts pour légumes en vrac doivent être solides, à ossature à montants larges, espacés de façon à résister à la pression des produits empilés contre les murs. Ces murs peuvent être isolés avec des matelas, des panneaux de polystyrène ou de la mousse d'uréthane vaporisée. À moins que l'entrepôt ne soit réfrigéré, la température de l'entrepôt sera rarement plus froide que la température extérieure; l'isolant peut donc être constitué de matelas de fibre de verre économiques avec un coupe-vapeur intérieur comme l'indique la Figure 5. Voir de plus amples renseignements sur l'entreposage en vrac des pommes de terre dans la publication n° 1508 d'Agriculture Canada.



1. Semelle et fondation sous seuil de gel, à armatures selon pressions du sol et des produits stockés

2. Isolation périmétrique en polystyrène extrudé, 50 × 1200 mm, fixée aux coffrages avec des clous à finir avant de couler le béton

3. Cornière en acier et boulons d'ancrage maintenant la lisse et les montants contre les pressions des produits stockés

4. Montants 38 mm, largeur et espacement selon hauteur d'entreposage

5. Coupe-vent en feutre bitumineux, parement extérieur en acier, vertical ou horizontal, vissé sur (4)

6. Isolant en fibre de verre, mis en place par ajustement serré, coupe-vapeur en polyéthylène

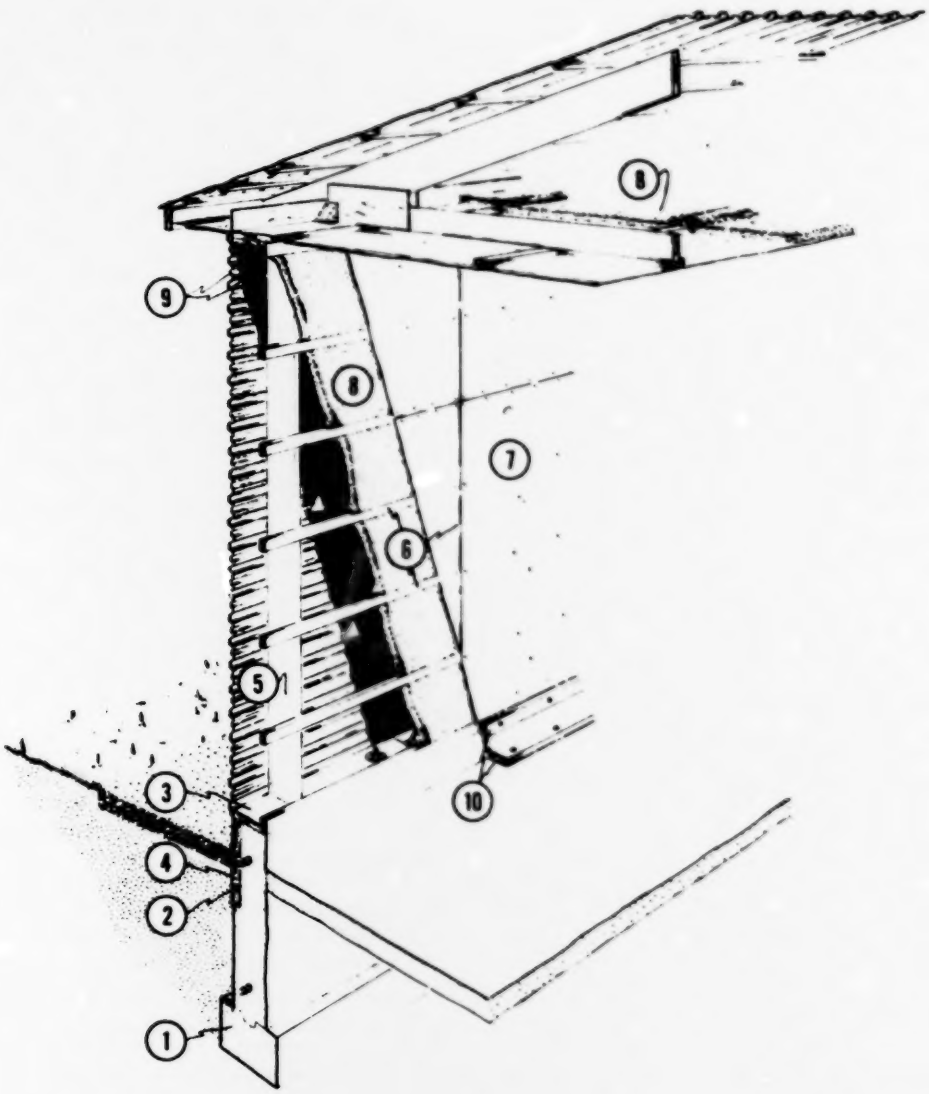
7. Contreplaqué de bois mou, catégorie parement extérieur 7,5 mm

8. Fonds de clouage 38 × 38 mm et lattes espacées de 19 mm pour séparer les produits du mur froid et humide

9. Bandes d'ancrage en acier galvanisé pour fixer les murs aux fermes afin de résister aux pressions des produits stockés

10. Fermes du toit, coupe-vapeur polyéthylène, plafond en contreplaqué, isolant RSI-3,5 (min.)

Fig. 5. Construction d'un mur type à montants de bois pour entrepôt à légumes en vrac (tiré du plan M-6110, Service des plans du Canada)



1. Semelle et fondation en béton, sous le seuil de gel
2. Isolation périmétrique de polystyrène extrudé 50 X 550 mm, fixé aux coffrages avec des clous à finir avant de couler le béton
3. Lisse traitée sous pression 38 mm, boulons d'ancrage aux 1200 mm
4. Panneau d'amiante-ciment haute densité 5 × 600 mm, percé et vissé sur (3)
5. Montants 38 mm aux 1200 mm, largeur selon hauteur du mur et de la pression de calcul du vent
6. Fond de clouage 38 × 64 mm aux 600 mm
7. Parement intérieur en contreplaqué de sapin, densité moyenne, préfini, 11 mm; attaches galvanisées, joints de 2 mm, clous et joints recouverts d'un calfeutrage de caoutchouc de silicone
8. Isolation: 75 mm (min.) de mousse polyuréthane vaporisée de l'extérieur et dans le comble par beau temps
9. Coupe-vent en feutre bitumineux, parement acier extérieur horizontal, vissé sur (5)
10. Membrane d'étanchéité, calfeutrée et fixée au plancher et au mur

Fig. 6. Construction d'un mur d'entrepôt à atmosphère contrôlée (AC) pour fruits et légumes dans des caisses-palettes (tiré du plan M-6113, Service des plans du Canada)

Isolation du toit des bâtiments à bétail, non chauffés

Il n'est pas nécessaire de chauffer tout l'hiver les bâtiments à ventilation naturelle pour le bétail bovin et ovin, mais il faut quand même un peu d'isolant sous l'acier de couverture pour que le givre ne s'y accumule pas au cours des nuits froides d'hiver. Durant la nuit, tout va bien mais, le matin, le soleil chauffe la couverture et fait fondre le givre. L'humidité nuisible mouille alors la charpente du bâtiment et dégoutte des chevrons sur le bétail et la litière.

Dans le passé, une des façons de solutionner le problème consistait à placer un panneau calorifuge en polystyrène de 25 mm, entre les pannes en bois du toit et la couverture en acier, ce qui réglait à merveille le problème de l'égouttement du matin mais qui comportait deux désavantages sérieux. Les oiseaux faisaient de grands trous dans le polystyrène mou, partout où ils pouvaient se percher et la mousse plastique apparente constituait un risque élevé d'incendie. Cette solution n'est donc pas recommandée.

Une solution à l'égouttement, plus sécuritaire et plus durable, consiste à poser sous l'acier un revêtement de contreplaqué d'extérieur, bon marché. S'il faut plus d'isolant, un ensemble sandwich de couverture, préfabriqué et isolé, a été mis au point par le Service des plans du Canada (voir dessin M-9302). Cet ensemble comprend un plafond en contreplaqué, un coupe-vapeur, des pannes en bois sur rive, un isolant de fibre de verre entre les pannes et finalement la couverture en acier.

Coupe-vapeur

L'isolation sert à maintenir un écart de température entre l'intérieur et l'extérieur. L'air chaud contient normalement beaucoup plus d'humidité (au poids) que l'air froid, ce qui entraîne une différence de pression de vapeur. L'humidité tend à s'infiltrer à travers les matériaux de construction, du côté chaud vers le côté froid, et à se condenser dans l'isolant, à chaque point où la température baisse suffisamment pour atteindre le point de rosée. Les isolants en matelas ont une résistance thermique plus basse lorsqu'ils sont humides et tendent à s'affaisser à cause du poids. Même l'isolant de mousse plastique peut absorber un peu d'eau et perdre de sa résistance thermique.

Afin de réduire l'humidification de l'isolant, installer un coupe-vapeur du côté chaud. Le coupe-vapeur peut être une feuille de polyéthylène transparent de 0,1 mm (4 mils) ou une feuille d'aluminium avec renfort de papier. Utiliser des rouleaux larges afin de réduire le nombre de joints au minimum. Brocher la feuille en place et faire les joints à chevauchement aux montants et autres éléments de charpente. L'emplacement du coupe-vapeur est très important. Dans le cas des bâtiments à bétail chauffés, il est à l'intérieur, dans le cas des entrepôts *froids* pour aliments congelés, le coupe-vapeur est à l'extérieur.

Les entrepôts *froids* réfrigérés, pour fruits et légumes, présentent un cas tout particulier. Ces entrepôts sont maintenus à des températures de 0 à 7°C alors que la température extérieure peut être plus froide en hiver mais considérablement plus chaude en été. Dans ce cas, il est difficile d'établir où poser le coupe-vapeur. Il ne faut pas en poser des deux côtés de l'isolant car l'humidité pourrait être retenue entre les deux coupe-vapeur. La meilleure règle est de poser le pare-vapeur du côté qu'on peut considérer "chaud" lorsque l'écart de température est le plus grand entre l'extérieur et l'intérieur sur une bonne partie de l'année.

Exemple: un entrepôt à Brighton (Ontario), et maintenu à 0°C, alors que la température de calcul en hiver est de – 22°C et que la température de calcul en été est de 30°C. En janvier, la température de l'entrepôt serait de 22°C supérieure à la température extérieure, mais en juillet, elle serait de 30°C inférieure; le coupe-vapeur doit donc être à l'extérieur de l'isolant.

Une solution préférable dans le cas des entrepôts froids consiste à utiliser l'un des isolants à mousse plastique les plus résistants à l'humidité, comme le polyuréthane, sans coupe-vapeur.

Un problème spécial survient lorsqu'un isolant de polyuréthane est vaporisé sur la face intérieure d'un bâtiment à paroi d'acier simple, pour en faire un bâtiment chaud pour le bétail ou un entrepôt d'aliments à température contrôlée. L'enveloppe d'acier du bâtiment agit en tant que coupe-vapeur efficace du côté froid (mauvais côté) de l'isolant. La vapeur d'eau produite par le bétail ou les légumes s'accumule dans l'isolant pendant tout l'hiver. Cette accumulation d'humidité réduit la résistance thermique d'un isolant déjà coûteux (voir Tableau 1) et dangereux, et dans les cas extrêmes, peut entraîner le décollage et la chute de la mousse. Une meilleure façon de procéder consiste à poser des fonds de clouage en bois, espacés de 600 mm, sur la paroi intérieure du bâtiment, puis d'isoler avec des matelas recouverts d'un coupe-vapeur et d'un revêtement.

Il est recommandé de poser un coupe-vapeur perméable à la vapeur d'eau (habituellement du feutre bitumineux) sous le parement extérieur des bâtiments, particulièrement aux endroits où le parement est en tôle et le coupe-vapeur est à l'intérieur de l'isolant. Ce coupe-vapeur bitumineux peut empêcher la pluie poussée par le vent, ou les courants d'air froid de passer à travers le parement extérieur, tout en permettant à la vapeur d'eau de s'échapper du mur.

Protection-incendie

Les mousses de polyuréthane et le polystyrène sont souvent posées de façon apparente, à l'intérieur de bâtiments agricoles modernes. Ces mousses, surtout le polyuréthane, ont cependant contribué à de nombreux incendies désastreux sur les fermes. Certains types de mousse polyuréthane, très combustibles, s'enflamment et brûlent lorsque exposés à la flamme ou aux étincelles. Le feu se propage à toute la surface très rapidement et dégage une fumée noire, dense et toxique ainsi que des gaz chauds.

La mousse de polystyrène fond lorsqu'elle est exposée à la chaleur, et produit des gouttes de plastique fondu qui s'accumulent en flaques et qui peuvent s'enflammer si elles sont exposées à la chaleur assez longtemps pour éliminer leur traitement ignifuge.

Plusieurs mousses sont aujourd'hui traitées avec des additifs ignifuges qui peuvent empêcher la mousse de s'enflammer au contact d'une allumette ou d'une cigarette. Un "essai" pour vérifier les propriétés ignifuges d'une telle mousse pourrait cependant avoir des résultats désastreux. Il faut donc considérer toutes les mousses, même celles qui sont traitées avec un additif, comme combustibles et les manipuler en tant que tel.

Le Code national du bâtiment interdit l'utilisation de mousse plastique apparente comme isolant, à l'intérieur d'un bâtiment; la mousse doit être recouverte d'un "écran thermique" approuvé comme le contreplaqué ou un revêtement ignifuge spécial.

Construction "à l'envers"

Un cas spécial est fait cependant pour le polyuréthane moussé en place en tant qu'isolant et membrane d'étanchéité combinée, pour les entrepôts d'aliments réfrigérés ou à atmosphère contrôlée. Dans ce cas, une technique améliorée consiste à construire le bâtiment "à l'envers". La charpente est érigée et le parement intérieur (contreplaqué ou acier galvanisé) y est fixé. Le polyuréthane est alors moussé de l'extérieur entre les éléments de l'ossature, contre le parement intérieur. Finalement, le parement extérieur (acier galvanisé habituellement) est vissé en place pour offrir une protection contre les intempéries et les rongeurs. Le seul désavantage de cette méthode est qu'elle nécessite une période de temps sec et chaud avant et pendant la pose de l'isolant. Si l'entrepôt doit être à atmosphère contrôlée, le parement étanche intérieur est habituellement du contreplaqué à densité moyenne préfini, avec joints et trous de clous calfeutrés avec un produit de calfeutrage de haute qualité comme le caoutchouc de silicone (voir dessin M-611 du Service des plans du Canada).

Plafonds poreux

La ventilation au moyen d'un plafond poreux sert à minimiser les problèmes de condensation par temps froid dans les bâtiments à bétail à ambiance contrôlée. Ces plafonds sont particulièrement efficaces dans les régions les plus froides du Canada où le bétail ne fournit pas assez de chaleur pour qu'un dispositif conventionnel de ventilation fonctionne.

Le plafond peut être poreux dans une proportion variant de un quart à deux tiers. L'une des méthodes fait appel à une couche de paille ou de foin sec, en vrac, comme isolant de comble, supportée par un plafond à panneaux espacés. Selon une autre méthode, l'isolant apparent du plafond est supporté par un grillage à volaille. L'air tiré du comble ventilé, vers les stalles du bétail, par les ventilateurs, se réchauffe en traversant l'isolant poreux. En même temps, l'humidité et les odeurs s'échappent vers le haut à travers les panneaux espacés ou le grillage à volaille et l'isolant poreux. L'humidité, une fois dans le comble, est dispersée vers l'extérieur par le vent qui passe à travers les fentes de ventilation des débords de toit et des pignons. Pour que le plafond poreux fonctionne bien, le comble doit être si bien ventilé que l'air y soit presque comme à l'extérieur. Cependant, il faudrait alors empêcher le vent de pousser la neige fine par les grandes ouvertures de ventilation.

Rongeurs

Il faut empêcher les rats et les souris d'endommager l'isolation périmétrique ou de pénétrer dans les murs et le comble. La plupart des matériaux isolants n'ont aucune valeur nutritive pour les rats et les souris qui peuvent quand même les gratter ou les ronger, s'y nicher et causer des dommages considérables. Le coût et les efforts additionnels pour protéger un bâtiment agricole contre les rongeurs sont justifiés par la prévention de la perte de résistance thermique, de l'accroissement des fuites d'air et du gaspillage des aliments du bétail ainsi que par l'augmentation de la consommation.

La Figure 2 illustre une façon de protéger l'isolation périmétrique contre les rongeurs. S'assurer que les parements intérieurs et extérieurs sont bien posés ne laissant aucun interstice entre le mur et le plancher, surtout au niveau du sol. Poser des solins en acier le long des bords des panneaux muraux à motif profond pour empêcher les rongeurs d'entrer et ne laisser aucun bord apparent de parement de bois à découvert qu'ils pourraient ronger pour pénétrer à l'intérieur. Prendre soin de ne laisser aucune chance aux rats ou aux souris d'accéder au comble, par les murs latéraux ou d'extrémité. Finalement, s'assurer que le creux des murs est bloqué à intervalles réguliers par des entremises qui servent aussi de cloisons anti-rongeurs.

APPENDICE

Calcul de la cote RSI et des déperditions caloriques des bâtiments agricoles types

La résistance thermique totale (RSI) d'un bâtiment donné est la somme des résistances de toutes les épaisseurs de matériaux, y compris les espaces vides.

L'exemple suivant fait la démonstration du calcul de la cote RSI totale pour le bâtiment illustré à la Figure 2. Noter qu'une résistance thermique (f_i) est incluse pour la mince couche d'air immobile sur la surface intérieure des murs. Une résistance thermique f_o est également incluse pour la couche d'air extérieure, mais sa valeur est moindre que f_i à cause de l'effet de balayage du vent. D'autres facteurs, comme la rugosité de la surface, la température et la réflexion de la lumière influent sur la résistance thermique réelle des surfaces. Le Tableau 1 comprend des valeurs f_i et f_o types.

Évaluation de la résistance thermique (RSI) du plafond, du mur, de la fondation et du plancher de la Figure 2

	cote RSI (selon Tableau 1)
Plafond	
Couche d'air intérieure, résistance de la surface (f_i)	0,03
Plafond en contreplaqué de 7,5 mm	0,05
Coupe-vapeur en polyéthylène	0,0
Isolant en matelas de fibre de verre RSI 3,5	3,5
Couche d'air immobile, résistance de la surface (f_i) au comble	0,11
Cote RSI totale du plafond =	3,69
Mur	
Couche d'air intérieure, résistance de la surface (f_i)	0,12
Parement intérieur, contreplaqué de 9,5 mm	0,08
Coupe-vapeur en polyéthylène	0,0
Isolant en matelas de fibre de verre RSI-3,5	3,5
Espace d'air vertical — coupe-vent bitumineux	0,21
Tôle extérieure	0,0
Couche d'air extérieure, résistance de la surface	0,03
Cote RSI totale du mur =	3,94
Mur de fondation (perte entre le plancher de béton et le bas du mur à montants)	
Résistance de la surface intérieure (f_i)	0,12
Béton 150 mm, 0,150 × 0,55 =	0,08
Isolant rigide en polystyrène de 50 mm, 0,05 × 24,7 =	1,24
Panneau d'amiante-ciment comprimé, haute densité, 5 mm	0,01
Résistance de la surface extérieure (f_o)	0,03
Cote RSI totale de la fondation =	1,48
Plancher	
Plancher en béton sur le sol	1,76
Cote RSI totale du plancher =	1,76

Le taux de déperdition de chaleur H d'une surface de bâtiment peut être calculé en watts à l'aide de la formule suivante $H = A(T_i - T_o)/RSI$, dans laquelle A est la surface en m^2, RSI est la résistance thermique totale, T_i est la température intérieure et T_o, la température extérieure, le tout en mesures métriques.

La perte de chaleur (H_p) du périmètre d'une dalle de plancher en béton à travers la fondation, doit être calculée d'une autre façon puisque la surface par laquelle la chaleur s'échappe n'est pas clairement définie. Le *U.S. National Bureau of Standards* suggère d'utiliser le facteur F (perte périmétrique, différence de température entre l'intérieur et l'extérieur ($T_i - T_o$), en °C) et le périmètre (P, en mètres) du bâtiment. L'isolation des premiers 300 mm sous le niveau du sol est la plus importante, bien qu'un peu de chaleur se perde encore sous ce niveau.

La formule pour calculer la perte de chaleur du périmètre est

$$H_p = PF(T_i - T_o)$$

où H_p = perte de chaleur du périmètre, W
P = périmètre du bâtiment, m
F = facteur de perte de chaleur du périmètre, W/(m·°C) (voir Tableau 3)
T_i = température intérieure, °C
T_o = température extérieure, °C

Exemple

Quelle est la perte de chaleur (ventilation non comprise) d'un bâtiment à bétail de 10,8 × 21,6 × 2,4 m, dont les murs et le plafond sont isolés comme à la Figure 2, lorsque la température est de 18°C à l'intérieur, de −23°C à l'extérieur et que celle du sol est de 10°C?

(Pour fins de calcul, les dimensions intérieures sont évaluées à 10,5 m × 21,3 m et le mur de fondation est établi à 300 mm de hauteur.)

Perte de chaleur du plafond H =
$A(T_i - T_o)/RSI$ =
$(10,5 \times 21,3)(18-(-23))/3,69$ = 2485 W

Perte de chaleur du mur H =
$A(T_i - T_o)/RSI$ =
$2 \times 2,4 \times (10,5 + 21,3)(18-(-23))/3,95$ = 1588 W

Perte de chaleur du mur de fondation H =
$A(T_i - T_o)/RSI$ =
$0,3 \times 2(10,5 + 21,3)(18-(-23))/1,48$ = 528 W

Perte de chaleur du périmètre du plancher H =
$PF(T_i - T_o)$ =
$2(10,5 + 21,3)(0,43)(18-(-23))$ = 1121 W

Perte de chaleur du plancher au sol H =
$A(T_i - T_o)/RSI$ =
$(10,5 \times 21,3)(18-10)/1,76$ = 1017 W

Perte de chaleur totale
du bâtiment = 6739 W

Il est à noter que dans l'exemple précédent, il n'y a pas de fenêtres dans le bâtiment (lesquelles sont des points importants de perte de chaleur). Les pertes de chaleur par les portes n'ont pas été calculées non plus. Les bâtiments perdent de la chaleur par les fuite d'air proportionnellement à l'étanchéité de leur construction; dans les bâtiments agricole avec ventilateurs, cette fuite d'air est habituellement considérée comme partie des besoins en ventilation.

Dans les résidences et autres bâtiments sans ventilation commandée, la partie de la perte de chaleur totale, due aux fuites d'air, peut facilement excéder la perte de chaleur par conduction à travers les murs.

TABLEAU 1 RÉSISTANCE THERMIQUE ET COÛTS DES MATÉRIAUX D'ISOLATION COURANTS

Matériau	Cote RSI[a] Épaisseur (mm)	Par épaisseur indiquée	Par mètre d'épaisseur	Coût approximatif[b] $/m^2	Coût par unité de cote RSI $/(m^2·RSI)
Laine minérale ou fibre de verre en matelas (y compris type recouvert de papier et à ajustement serré, masse volumique 24-62 kg/m^3)	25	0,65	25,7		
	64	1,1		1,30	0,80
	90	1,3		1,66	0,72
	100	2,6		1,95	0,75
	150	3,5		2,80	0,80
Papier macéré	100	2,5	25,0	1,55	0,62
Fibre de cellulose (coton, pâte de papier, etc.)	1000		25,0		0,64
Vermiculite dilaté (masse volumique 64-96 kg/m^3)	1000		15,7		0,77
Sciure sèche ou rognures de bois (masse volumique 130-240 kg/m^3)	1000		15,4		
Paille (coupée, sèche)	1000		9,9		
Panneaux de liège			25,7		
Mousse de polystyrène					
Panneaux granuleux (masse volumique 16 kg/m^3)	25	0,61	24,7	1,50	2,46
Panneaux extrudés (masse (volumique 29-35 kg/m^3)	25	0,69-0,87	27,7-34,7	2,80	4,06-3,22
Mousse de polyuréthane (posée sur place, masse volumique 24-40 kg/m^3)	25	1,04[c]	41,5[c]	5,30[d]	5,10[d]
	50	2,08[c]		10,60[d]	5,10[d]

[a] Les résistances thermiques (cotes RSI) proviennent du Code canadien de construction de bâtiments agricoles 1977 et d'autres sources.

[b] Ces prix ne sont indiqués que pour faciliter la comparaison. Voir un fournisseur de matériaux de construction pour plus de renseignements sur les prix actuels.

[c] Il s'agit de cotes "vieillies" de la mousse vaporisée et ces cotes peuvent continuer à diminuer avec le vieillissement de l'uréthane. Certains fabricants prétendent que leurs produits ont des cotes RSI beaucoup plus élevées grâce aux gaz de moussage (fréon habituellement) enfermés dans la mousse au cours de la fabrication. Étant donné qu'avec le temps, l'air dont la résistance thermique est moindre tend à remplacer le fréon, les résistances annoncées ne peuvent pas être maintenues à moins que les faces de l'isolant ne soient scellées en usine avec un matériau étanche à l'air comme une feuille métallique.

[d] Le coût de l'installation est inclus. Ne pas comparer directement avec le coût d'autres matériaux sans y ajouter d'abord le coût de l'installation.

TABLEAU 2 RÉSISTANCES THERMIQUES DE MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION TYPES, DES ESPACES D'AIR, DES FENÊTRES ET DES PLANCHERS DE BÉTON

Matériaux	Épaisseur (mm)	Cote RSI à l'épaisseur indiquée	Cote RSI par mètre d'épaisseur
Papiers et panneaux de construction			
Panneaux d'amiante	5	0,01	
Contreplaqué de sapin	9	0,09	
Panneaux gaufrés de tremble (Aspenite, etc.)	6	0,08	
Panneaux de fibre (Ten-test, etc.)	12	0,23	
Feutre bitumineux		0,01	
Coupe-vapeur en polyéthylène	100 µm	0,00	
Construction à ossature			
Revêtement de bois et papier de construction	19	0,20	
Idem, plus parement chevauché		0,35	
Parement chevauché ou bardeaux de bois		0,14	
Parement en pin ou en sapin massif	25	0,22	
Matériaux de couverture			
Feutre et bitume (couvertures multicouches)	9	0,06	
Bardeaux d'asphalte		0,08	
Béton et maçonnerie			
Béton armé ou non (masse volumique 2240 kg/m^3)	200	0,11	0,55
Béton léger masse volumique 1900 kg/m^3	200	0,26	1,32
1280 kg/m^3	200	0,55	2,77
640 kg/m^3	200	1,19	5,96
480 kg/m^3	200	1,54	7,69
320 kg/m^3	200	1,98	9,91
Blocs de béton alvéolés	200	0,20	
Blocs de béton alvéolés remplis de vermiculite	200	0,32	
Blocs légers (schiste, argile, ardoise, béton de laitier ou pierre ponce)	200	0,35	
Idem, remplis de vermiculite	200	0,70	

(à suivre)

TABLEAU 2 (SUITE)

Matériaux	Épaisseur (mm)	Cote RSI à l'épaisseur indiquée	Cote RSI par mètre d'épaisseur
Résistances superficielles			
f_o pour mur extérieur (vent de 24 km/h)		0,30	
f_i pour surface intérieure (pas de vent)			
plafond (surface horizontale)		0,11	
mur (surface verticale)		0,12	
Espace d'air vertical (dans un mur de 20 mm ou plus épais)		0,21	
Fenêtres (y compris résistance de l'espace d'air et des surfaces)			
Un panneau de verre vertical		0,16	
Deux panneaux de verre verticaux, espace d'air 12 mm		0,32	
Deux panneaux de verre verticaux, espace d'air 25 mm ou plus		0,33	
Plancher de béton — de 150 mm au-dessus du plancher jusqu'au sol (écart de température 11°C)		1,76	

TABLEAU 3 FACTEURS TYPES DE PERTE DE CHALEUR AU PÉRIMÈTRE DU PLANCHER

Description du périmètre du plancher	Facteur F (Perte de chaleur périmétrique)
Béton ordinaire non isolé	1,42
Béton ordinaire isolé à l'extérieur jusqu'à 300 mm sous le niveau du sol avec un matériau isolant rigide cote RSI = 0,7	0,85
Béton ordinaire isolé à l'extérieur jusqu'à 300 mm sous le niveau du sol avec un matériau isolant rigide cote RSI = 1,4	0,43

FACTEURS DE CONVERSION

Unités anglaises	***X***	***Facteur de conversion***	***= Unités métriques***
$R \frac{(h \cdot ft^2 \cdot °F)}{(BTU)}$		0,176	$RSI \frac{(m^2 \cdot K^*)}{(W)}$
¢/pi²		0,108	$/m²
¢(pi²·R)		0,611	$/(m²·RSI)
R par unité d'épaisseur:			
$R \frac{(h \cdot pi^2 \cdot °F)}{(BTU \cdot in)}$		6,934	$RSI \frac{(m^2 \cdot K^*)}{(W \cdot m)}$
Facteur de perte de chaleur périmétrique par unité de longueur:			
$F \frac{(BTU)}{(h \cdot °F \cdot ft)}$		0,001556	$F \frac{(W)}{(K \cdot m)}$

* Le facteur K est l'unité d'intervalle de température et est équivalent à un écart de température de 1°C.

POOR

QUALITY

ORIGINAL